

# **Modélisation de la croissance architecturale et radiale du pin blanc dans l'est du Canada selon des facteurs environnementaux et climatiques**

par

Laurence Larose

Département de géographie, Université de Montréal

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences  
en vue de l'obtention du grade de maître  
en géographie environnementale

Juillet 2018

© Laurence Larose, 2018

Université de Montréal

## Résumé

Un modèle de prédiction de la productivité forestière adapté à l'ontogénie et phénologie du pin blanc permettrait d'optimiser sa production. La croissance architecturale du houppier (longueur de la pousse annuelle et le nombre de ramifications annuel) et la croissance radiale (largeur du cerne annuelle) ont été mesurées sur quatre sites dans le Québec méridional. Ces variables réponses ont été mises en relation dans des modèles avec des variables explicatives soulevées par plusieurs études comme étant importantes pour la croissance du pin blanc ou d'autres espèces forestières. Ces modèles ont été séparés selon deux catégories de variables explicatives. Il s'agit de variables environnementales et climatiques. Le modèle le plus parcimonieux par catégorie et par variable réponse a été déterminé en utilisant le critère d'Akaike. Il s'agit alors du modèle le moins biaisé et le plus précis. Les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux comprenaient un indice de compétition indépendant de la distance ne tenant compte que des arbres compétiteurs d'un diamètre plus important que l'arbre cible dans un rayon d'influence de 8 m. Certaines variables climatiques mensuelles, de température et de précipitations, de l'année précédant la croissance et de l'année de la croissance sont ressorties comme importantes pour la croissance architecturales et radiales. Seul le modèle climatique de croissance radiale est suffisamment explicatif (65,9%) pour être considéré adéquat pour une simulation de prédiction de production forestière.

**Mots-clés :** architecture, pin blanc, croissance, température, précipitations, compétition, spatialité, pousse, cerne, ramification, dendroécologie, écologie, foresterie, écophysiologie, phénologie, ontogénie, modélisation

## **Abstract**

A predictive model of forest productivity adapted to the ontogeny and phenology of eastern white pine would optimize its production. Architectural crown growth (annual shoot length and number of annual twigs) and radial growth (annual ring width) were measured at four sites in southern Quebec. These response variables were related in models with explanatory variables considered by several studies as important for the growth of eastern white pine or other forest species according to two categories of explanatory variables : environmental or climatic variables. The most parsimonious model by category and by response variable was determined using the Akaike criterion. This is the least biased and most accurate model. The environmental models included a competition index independent of distance and considering competing trees larger in diameter than the target tree at less than 8 m. The dendroclimatic model and the two climatic models of architectural growth include monthly climatic variables, temperature and precipitation, the year preceding growth and the year of growth. Only the climatic model of radial growth is sufficiently explanatory (65.9%) to be considered adequate for a prediction simulation of forest production.

**Keywords:** architecture, eastern white pine, growth, temperature, precipitations, competition, spatiality, shoot, ring, branching, dendroecology, ecology, forestry, phenology, ontogeny, modeling

# Table des matières

Résumé .....	ii
Abstract.....	iii
Table des matières .....	iv
Liste des tableaux .....	vi
Liste des figures .....	vii
Liste des sigles .....	viii
Liste des abréviations.....	xi
Introduction.....	1
Présentation du pin blanc.....	1
Objectifs .....	3
Hypothèses .....	5
Cadre théorique .....	5
Croissance architecturale .....	6
Croissance radiale .....	6
Problématique.....	7
Méthodes.....	13
Le choix des sites .....	13
Présentation des sites .....	15
Échantillonnage, analyses et modélisation .....	24
Échantillonnage.....	24
Tests de différence .....	27
Modélisation.....	34
Résultats.....	37
Modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux.....	41
Modèles de croissance considérant le climat .....	45
Discussion.....	48
Modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux.....	48
Modèles de croissance considérant le climat .....	52
Conclusion .....	57

Bibliographie .....	61
ANNEXE A: Paramètres des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux .....	i
ANNEXE B: Paramètres des modèles de croissance considérant le climat .....	ii
ANNEXE C: Caractéristiques des arbres compétiteurs et leur distance des arbres cibles. ....	iii
ANNEXE D: Abondance de gaules et arbustes pour chaque parcelle échantillonnée à l'été 2015.....	xxvi
ANNEXE E: Abondance de la végétation se trouvant entre zéro et 1 mètre à partir du sol pour les parcelles échantillonnées en 2015.....	xxvii

## Liste des tableaux

Tableau 1. Caractérisation générale des placettes d'échantillonnage. ....	21
Tableau 2. Caractérisation des sols. ....	22
Tableau 3. Les indices de compétition. ....	32
Tableau 4. Différences significatives entre les sites pour les années 2000 à 2014 pour les variables longueur de la pousse annuelle (a) et nombre de ramifications (b). ....	38
Tableau 5. Modèles de croissance rétrospective du pin blanc de 2000 à 2014 dans l'est du Canada considérant des facteurs environnementaux. ....	44
Tableau 6. Modèles de croissance rétrospective du pin blanc de 2000 à 2014 dans l'est du Canada considérant le climat. ....	47

## Liste des figures

Figure 1: Aire de répartition géographique du pin blanc. ....	2
Figure 2. Localisation des sites de pinèdes blanches échantillonnées à l'été 2015 au Québec. ....	16
Figure 3. a) à d). Températures et précipitations des sites échantillonnées de 2001 à 2014.....	23
Figure 4. Échantillonnage hiérarchique pour l'analyse architecturale rétrospective du houppier du pin blanc.....	26
Figure 5. Plan d'échantillonnage. ....	33
Figure 6. Médiane de la longueur de la pousse annuelle en mm (a), du nombre de ramifications (b) et de la croissance radiale annuelle en mm (c) des arbres cibles par site de 2000 à 2014.....	40

## Liste des sigles

AFCE : Association forestière des Cantons de l'Est

AIC : Critère d'information d'Akaike

BL : Blainville

C : Conifère

CBAL8.F : Indice de compétition non-spatial de Hale (2010) prenant en compte les feuillus dans un rayon de 8 m autour de l'arbre cible

CBAL8.T : Indice de compétition non-spatial de Hale (2010) prenant en compte les feuillus et les conifères dans un rayon de 8 m autour de l'arbre cible

C.E.P.P.A.C. : Comité d'experts sur la prospection pédologique d'Agriculture Canada

CEC : Capacité d'échange cationique moyenne en cmolc/kg à 22,5cm de profondeur

CERFO : Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc.

CI : Indice de compétition spatial qui considère l'arctan du diamètre. Il est le seul indice de compétition dépendant de la distance non-linéaire testé dans cette étude.

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

DHP : Diamètre à hauteur de poitrine (1,30 m)

DHPi\_m : Diamètre initiale à hauteur de poitrine (1,30 m) de l'arbre cible c'est-à-dire son diamètre avant l'année de croissance

DR : Dominance relative

F : Feuillu

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

G : Surface terrière

GCI : Indice de compétition spatial prenant en compte les surfaces terrières des compétiteurs

GCII : : Indice de compétition non spatial prenant en compte les surfaces terrières des compétiteurs

H : Hauteur

HS : Axe secondaire fort du haut de la branche échantillonnée

HW : Axe secondaire faible du haut de la branche échantillonnée



I : Intolérant à l'ombre

ISRIC : International Soil Reference and Information Centre

Log2: Logarithme en base deux

Log2Growth : Logarithme en base deux de la largeur du cerne annuel

Log10: Logarithme en base dix

Log10ramif : Logarithme en base dix du nombre de ramifications annuelles

Log10shoot : Logarithme en base dix de la longueur de la pousse annuelle

MDDELCC: Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques

MFFP : Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs

MRN : Ministère des Ressources Naturelles du Québec

MS : Axe secondaire fort du milieu de la branche échantillonnée

MW : Axe secondaire faible du milieu de la branche échantillonnée

n-1 : Année précédant la croissance

n : Année de la croissance ou nombre d'échantillons pour le calcul du biais et de la précision

NA : Non applicable, faisant référence à des données non enregistrées

NAFC : North American Forest Commission

NCI : Indice de compétition spatial prenant en compte les diamètres des compétiteurs

NCII : Indice de compétition non spatial prenant en compte les diamètres des compétiteurs

NDP : Notre-Dame-de-Pontmain

P : Axe principale de la branche échantillonnée

Ptot\_xx : Précipitations totales mensuelles (où xx correspond au numéro du mois 01=Janvier, 02=Février, 03=Mars, 04=Avril, 05=Mai, 06=Juin, 07=Juillet, 08=Août, 09=Septembre, 10=Octobre, 11=Novembre, 12=Décembre)

r : Rayon d'influence en m considéré pour le calcul d'un indice de compétition

$R^2$  : Coefficient de variation

$R^2_{aj}$  : Coefficient de variation ajusté

RFV : Réserve Faunique de La Vérendrye

RI : Ripon

SCG : Abondance de gaules et arbustes conifères dans la parcelle où se trouve l'arbre cible

SFG : Abondance de gaules et arbustes feuillus dans la parcelle où se trouve l'arbre cible

SIG : Abondance de gaules et arbustes intolérants à l'ombre dans la parcelle où se trouve l'arbre cible

STG : Abondance de gaules et arbustes tolérants à l'ombre dans la parcelle où se trouve l'arbre cible

StotG : Abondance de gaules et arbustes totaux

T : Tolérant à l'ombre

Tmaxmax : Température maximale du mois le plus chaud

Tmaxmin : Température maximale du mois le plus froid

Tmax\_xx : La température maximale mensuelle pour chaque mois de l'année (où xx correspond au numéro du mois 01=Janvier, 02=Février, 03=Mars, 04=Avril, 05=Mai, 06=Juin, 07=Juillet, 08=Août, 09=Septembre, 10=Octobre, 11=Novembre, 12=Décembre)

Tmean\_xx : Température moyenne mensuelle (où xx correspond au numéro du mois 01=Janvier, 02=Février, 03=Mars, 04=Avril, 05=Mai, 06=Juin, 07=Juillet, 08=Août, 09=Septembre, 10=Octobre, 11=Novembre, 12=Décembre)

Tmin\_xx : La température minimale mensuelle pour chaque mois de l'année (où xx correspond au numéro du mois 01=Janvier, 02=Février, 03=Mars, 04=Avril, 05=Mai, 06=Juin, 07=Juillet, 08=Août, 09=Septembre, 10=Octobre, 11=Novembre, 12=Décembre)

Tminmax : Température minimale du mois le plus chaud

Tminmin : Température minimale du mois le plus froid

USGS : United States Geological Survey

VIF : Facteur d'inflation de la variance utilisé pour calculer la colinéarité entre les variables

$\chi^2$  : Khi carré

\_AV : Données climatiques de l'année précédant la croissance

## Liste des abréviations

Alt : Altitude

Exp : Exposition

K-W : Kruskal-Wallis

LAT : Latitude

LONG : Longitude

Pl: Placette

Sa: Sable

# Introduction

## Présentation du pin blanc

Le pin blanc (*Pinus strobus* Linnaeus) est retrouvé dans la forêt tempérée de l'Est américain (Figure 1). Cette forêt est caractérisée par des températures et de la luminosité contrastées dans le temps, un climat humide et un sol relativement riche en nutriments (Bird, Bliss et coll. 2010). La limite de l'aire de répartition du pin blanc au sud se situe aux États-Unis dans la forêt tempérée. Sa limite au nord se situe au Canada dans la transition entre la forêt tempérée et la forêt boréale (Figure 1).

Surexploités à l'époque de la colonisation pour la fabrication de bateau et l'exportation en Angleterre (Frelich 2002, Ortuno M. E., Doyon F. et coll. 2010), il est toujours exploité de nos jours. Sa croissance rapide, sa capacité à rester droit et son bois de qualité en fait une essence forestière intéressante (Shmulsky et Jones 2011). Il est le résineux qui se vend le plus cher dans l'est canadien (Association forestière des Cantons de l'Est [AFCE] 2008). Il peut atteindre des diamètres très importants comparativement aux feuillus ce qui en fait l'espèce offrant un des meilleurs rendements en volume par tige récoltée. Cependant, la moitié des produits forestiers de pin blanc du Québec est importée soit des États-Unis ou des autres provinces canadiennes de l'est (AFCE, 2008). Le défaut de régénération naturelle, le manque de suivi après plantation et l'exploitation des vétérans ont créé la rareté, amenant des structures d'âge anormales et un manque de pin de plus de 30 ans (Boulet et Huot 2013).

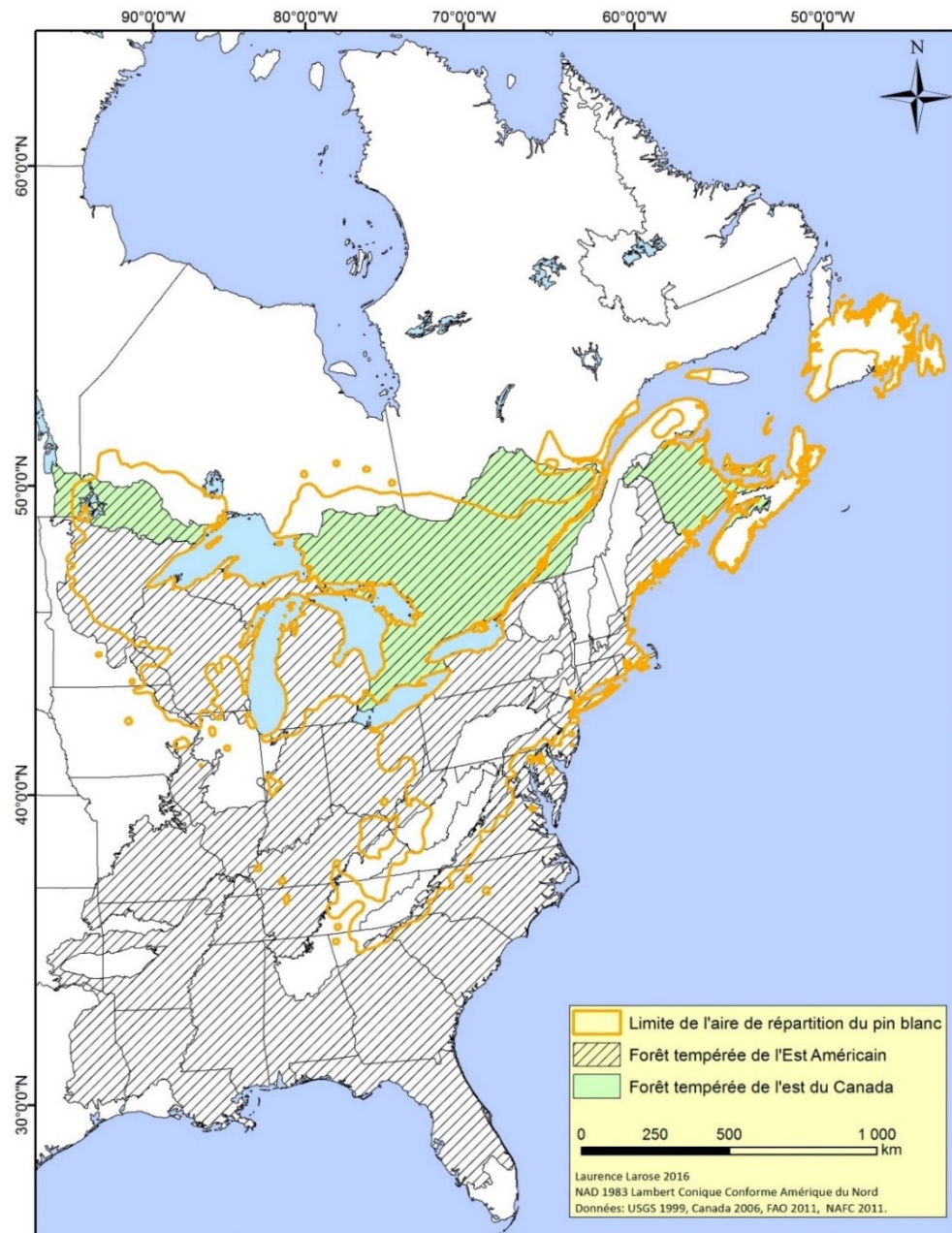


Figure 1: Aire de répartition géographique du pin blanc.

Limites de la forêt tempérée de l'Est américain (hachuré), de la portion canadienne (vert) et de l'aire de répartition du pin blanc (contour orange).(USGS 1999, Atlas de l'Amérique du Nord 2006, North American Forest Commission [NAFC], Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] 2011)

Depuis les années 2000, de grands investissements ont été faits dans le sud du Québec pour comprendre et améliorer la régénération du pin blanc (Doyon et Bouillon 2003) et sa sensibilité à la régénération a été largement étudiée (Horton et Brown 1960, Burns et Honkala 1990, Buse 1992, Abrams et Orwig 1996, Abrams 2001, Burgess, Robinson et coll. 2005, Boucher, Bernier et coll. 2007, AFCE, 2008, Farjon 2013). Le gouvernement québécois a diminué la possibilité de coupe forestière de l'espèce afin de faciliter la régénération naturelle. De plus, le projet de loi 57 adopté en 2009 améliorant les politiques concernant l'aménagement écosystémique des forêts a permis l'amélioration des techniques sylvicoles (Blouin, Guillemette et coll. 2007, Ventura-Giroux 2012). On sait désormais que les sites sur plateau de sable sont des endroits où l'on retrouve une grande densité de pin blanc, où le taux de croissance en hauteur et en diamètre est maximal en plus d'être le seul type de sites où la protection des semis est efficace selon les techniques d'aménagement actuelles (Blouin, Guillemette et coll. 2007, AFCE, 2008, Ventura-Giroux 2012, Boulet et Huot 2013).

Connaître les facteurs environnementaux et climatiques affectant la croissance du pin blanc pour les sites sur plateau de sable permettrait d'optimiser la production par un aménagement plus ciblé pour cette espèce. Par un souci écologique, social et économique, la production forestière du pin blanc en milieu naturelle devrait être priorisé dans les sites sur plateau de sable alors que les sites moins productifs où la régénération naturelle est sensible aux techniques sylvicoles actuelles devraient être évités. De plus, connaître les facteurs environnementaux et climatiques affectant la croissance est une première étape dans l'élaboration de modèles de croissance permettant de prédire de façon efficiente, c'est-à-dire sur 120 ans et dans un contexte de changements climatiques, le rendement en termes de volume de bois d'un site, une information importante pour les gestionnaires forestiers.

## **Objectifs**

L'objectif principale de la présente étude est de modéliser la croissance architecturale et radiale du pin blanc afin de connaître les facteurs environnementaux et climatiques susceptibles d'affecter son rendement. Cela donnera de l'information pertinentes aux gestionnaires forestiers dans une optique d'aménagement durable de la forêt. Pour la croissance architecturale, les variables réponses modélisées seront la longueur de la pousse annuelle et le nombre de

ramifications annuelles. Pour la croissance radiale, la variable réponse modélisée sera la largeur du cerne annuel. Pour chaque variable réponse étudiée, deux modèles seront développés, l'un selon des facteurs environnementaux et de compétition et l'autre selon des variables climatiques. En tout, l'étude présentera six modèles de croissance du pin blanc.

Les modèles de croissance considérant les facteurs environnementaux et de compétition permettront de déterminer si la teneur en sable ou en limon, la pente, l'exposition, l'épaisseur du sol, la latitude et l'altitude affecte la croissance architecturale et radiale du pin blanc. Les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux et de compétition permettront aussi de déterminer si des variables propres à l'arbre cible comme le DHP initial (Diamètre à hauteur de poitrine, 1,3m), sa hauteur et son âge ou des variables propres à la branche étudiée comme l'âge de la branche, sa vigueur relative et son exposition affecte la croissance du pin blanc. Pour le volet de compétition des modèles de croissance considérant les facteurs environnementaux et de compétition, la présente étude déterminera si l'abondance de la végétation au sol est corrélée avec la croissance du pin blanc. Elle déterminera aussi si l'abondance de gaules totale ou selon les classes feuillus et conifères ou encore selon le type de tolérance à l'ombre aurait un effet sur la croissance du pin blanc. Finalement, l'étude déterminera quel indice de compétition, spatial ou non spatial et dans quel rayon d'influence, permet d'expliquer mieux l'effet de la compétition sur la croissance. Les indices de compétition qui seront testés présentent des paramètres comme la surface terrière ou le diamètre de l'arbre cible. L'un des indices de compétition présente des paramètres ne considérant que les arbres plus gros que l'arbre cible. De plus, les indices de compétition testés prendront en compte l'ensemble des arbres compétiteurs ou feront une distinction entre conifères et feuillus ou entre arbres tolérants et intolérants à l'ombre.

Les modèles de croissance considérant le climat permettront de déterminer si les températures maximales mensuelles, minimums mensuelles, moyennes mensuelles et les précipitations totales (sous forme de pluie et de neige) moyennes mensuelles pour chaque mois de l'année précédant la croissance (n-1) et l'année de la croissance (n) ainsi que la température la moins froide du mois le plus froid de l'année (n-1) et de l'année (n) peuvent être associées à la croissance architecturale et radiale du pin blanc.

## Hypothèses

Les hypothèses seront présentées en détails tout au long de la section Problématique. Les modèles de croissance considérant les facteurs environnementaux et de compétition permettront de déterminer si un pourcentage de sable ou de limon élevé affecte de façon positive la croissance architecturale et radiale du pin blanc. Les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux et de compétition permettront aussi de déterminer si le DHP initial a un effet positif sur la croissance architecturale et radiale. Pour le volet compétition, les modèles détermineront si l'abondance de la végétation au sol est corrélée de façon positive avec la croissance du pin blanc. Elle déterminera aussi si l'abondance de gaules selon les catégories feuillus et conifères auraient une association plus forte avec la croissance que l'abondance totale ou selon le type de tolérance à l'ombre. Et finalement pour ce volet, l'étude déterminera si un indice de compétition qui ne considère que les arbres compétiteurs avec un diamètre plus important que l'arbre cible explique mieux l'effet de la compétition sur la croissance que les autres indices de compétition. Elle déterminera aussi si les indices de compétition faisant une distinction entre conifères et feuillus expliquent mieux l'effet de la compétition sur la croissance architecturale et radiale que les indices de compétition totale ou par type de tolérance.

Les modèles de croissance considérant le climat permettront de répondre à l'hypothèse selon laquelle les températures et les précipitations de l'année précédent la croissance sont importantes pour la croissance de l'année en cours. Ils permettront aussi de répondre à l'hypothèse selon laquelle les mois de croissance (mai-septembre) ont un effet positif sur la croissance architecturale et radiale du pin blanc.

## Cadre théorique

La présente étude contribue à l'avancement des connaissances de la modélisation de la croissance du pin blanc. Afin de connaître le rendement futur des forêts, les gestionnaires forestiers se basent sur des modèles de prédiction de la croissance individuelle des arbres. Au Canada, il existe deux modèles connus et utilisés. Il s'agit d'Artemis-2009 (Fortin et Langevin 2010) et SaMare (Fortin, Bédard et coll. 2009). Artemis-2009 a été optimisé en 2014 par l'ajout de nouvelles données donnant naissance à Artemis-2014 (Power 2016). Ces modèles modélisent



la production forestière en termes de volume de bois en considérant divers facteurs environnementaux et climatiques. Par contre, ces modèles sous-estiment le rendement à la tige en modélisant que le volume produit par le tronc. Ils utilisent comme variables réponses le diamètre du tronc et la hauteur de l'arbre pour calculer le volume (Fortin et Langevin 2010). Pourtant, le pin blanc atteint de hauts rendements dans l'optimisation de l'utilisation du tronc et des branches comme produits du bois (Shmulsky et Jones 2011). Pour le pin blanc et beaucoup d'essences forestières, le houppier, c'est-à-dire la portion de l'arbre constitué des branches, feuilles et organes reproducteurs (Delagrange, Messier et coll. 2004, Vennetier, Girard et coll. 2011), constitue environ les deux tiers du volume pouvant être utilisé (Girard 2011).

## **Croissance architecturale**

La croissance architecturale décrite dans cette étude se rapporte à la croissance du houppier définie précédemment. Sauf pour le diamètre des branches, la croissance architecturale est développée par les méristèmes primaires apicaux et latéraux que l'on appelle aussi la croissance primaire (Raven, Evert et coll. 2005). Les différents compartiments de la croissance architecturale sont la partie tendre des pousses annuelles et des ramifications latérales, les feuilles et les organes reproducteurs (Raven, Evert et coll. 2005). La croissance des arbres au Québec est rythmique (Laplante 2012) et elle tombe en dormance à l'hiver. L'arrêt de la croissance primaire est marqué par des cicatrices de bourgeons terminaux et des brachyblastes, rangées d'écorces plus courtes (Barthelemy et Caraglio 2007, Laplante 2012). Dans la présente étude, les facteurs environnementaux et climatiques susceptibles d'influencer la croissance architecturale ont été mis en relation dans des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux et de compétition et dans des modèles de croissance considérant le climat. Les deux variables réponses étudiées étaient la longueur de la pousse et le nombre de ramifications.

## **Croissance radiale**

La croissance radiale est développée par l'activité cambiale. Le cambium est le méristème secondaire qui se divise et se différencie en cellules de phloème et de xylème qui constituent les cylindres de bois des tiges, branches et racines résultants de la croissance radiale

(Rossi, Anfodillo et coll. 2013). Le cambium entre en dormance à l'hiver et est marqué par la production du bois final la plupart du temps plus foncé, car les cellules sont plus petites avec une paroi lignifiée plus épaisse que les cellules formées au printemps (Rossi, Anfodillo et coll. 2013). Le cerne annuel est composé du bois initial formé au printemps et à l'été et du bois final formé à l'automne. Dans la présente étude, les facteurs environnementaux et climatiques susceptibles d'influencer la croissance radiale ont été inclus dans des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux et de compétitions et dans des modèles de croissance considérant le climat. La variable réponse étudiée était la largeur du cerne annuel.

## **Problématique**

Les modèles de prédiction de la croissance actuels ne prennent pas en compte l'ontogénie et la phénologie des espèces. L'ontogénie ou l'ontogénèse végétale regroupe les processus de développement des végétaux de la graine jusqu'à la sénescence en passant par les stades adultes et reproductifs (Ducieux, Le Guyader et coll.). La phénologie est l'étude de la période à laquelle les événements biologiques périodiques ont lieu comme le débourrement ou l'élongation (Bellard, Bertelsmeier et coll. 2012). Puisque l'ontogénie et la phénologie peuvent être propre aux espèces, le pin blanc est donc susceptible d'être affecté par les facteurs environnementaux, par la compétition et par le climat de façon différente des autres espèces. Les modèles de croissance de la présente étude ont permis de décrire et connaître les facteurs susceptibles d'affecter la croissance architecturale et radiale du pin blanc. L'étude se veut une première étape dans l'élaboration de modèles de prédiction de la croissance du pin blanc à long terme.

### **Modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux**

#### *Qualité des sites*

Les modèles Artemis-2009, Artemis-2014 (Power 2016) et SaMARE (Fortin, Bédard et coll. 2009) incluent des variables de perturbation comme des épidémies d'insectes, des coupes partielles ou de la mortalité, mais n'incluent pas de variables de qualité de sites sauf l'altitude pour les modèles Artemis et la latitude pour le modèle SaMARE. Or, l'effet de la compétition sur la croissance du pin blanc est différentiel selon la qualité des sites (Burns et Honkala 1990, Boulet et Huot 2013). Son rendement en volume de bois est meilleur dans les sites à texture

moyenne de sable et de limon (Burns 1990). L'étude permettra de déterminer si un pourcentage de sable ou de limon élevé affecte de façon positive la croissance architecturale et radiale du pin blanc. D'autres variables explicatives de qualité de sites seront testées comme la pente, l'exposition, l'épaisseur du sol, la latitude et de l'altitude.

### *Variables propres*

La variable propre utilisée dans les modèles Artemis-2009 et Artemis-2014 (Power 2016) est le diamètre à hauteur de poitrine (DHP, le diamètre mesuré à 1,3m) mesuré à chaque intervalle de 5 ou 10 ans et le DHP initial pour le modèle SaMARE (Fortin, Bédard et coll. 2009). Le DHP initial, c'est-à-dire le diamètre avant chaque année de croissance, est largement utilisé dans les modèles de compétition et un bon diamètre initial est synonyme d'une bonne croissance l'année suivante (Assmann 1970). La présente étude testera dans ces modèles de croissance considérant les facteurs environnementaux le DHP initial, mais aussi d'autres variables explicatives propres à l'arbre cible comme sa hauteur et son âge. Des variables propres à la branche étudiée seront testées pour les modèles de croissance architecturale comme l'âge de la branche, sa vigueur relative, et son exposition.

### *Végétation au sol*

La littérature rapporte que la végétation au sol a un impact négatif sur la croissance des juvéniles. Son taux de croissance est particulièrement diminué dans la basse régénération lorsqu'il se trouve en compétition avec la comptonie voyageuse (*Comptonia peregrina* (Linnaeus) J.M. Coulter), la fougère à l'aigle (*Pteridium aquilinum* (Linnaeus) Kuhn) ou le noisetier à long bec (*Corylus cornuta* Marshall) (Burns et Honkala 1990). Après trente ans, le taux de croissance accélère particulièrement dans les milieux ouverts (Burns et Honkala 1990). Il se pourrait que l'abondance de végétation au sol soit un indicateur de l'ouverture de la canopée ce qui affecterait indirectement mais positivement la croissance.

### *Strate intermédiaire*

La strate intermédiaire n'a pas d'effet compétitif pour la lumière sur les arbres de la canopée. Par contre, elle peut avoir un effet compétitif pour les nutriments et l'eau par la compétition racinaire. La compétition est d'autant plus importante dans les sols pauvres avec

déficit hydrique (Casper et Jackson 1997). La strate intermédiaire étudiée comprend les gaules (arbres de taille pré commercial < 10cm au DHP) et les arbustes. Les variables explicatives de la strate intermédiaire qui seront testées dans les modèles de croissance architecturale et radiale considérant des facteurs environnementaux seront divisées selon les trois classements décrits à la prochaine section (Indices de compétition). Les classements sont l'abondance totale de gaules et arbustes, de l'abondance par groupe feuillu ou conifère et de l'abondance selon la tolérance à l'ombre, soit tolérant ou intolérant à l'ombre.

### *Indices de compétition*

Les modèles Artemis-2009, Artemis-2014 (Power 2016) et SaMARE (Fortin, Bédard et coll. 2009) intègrent l'aspect de compétition sans toutefois tenir compte de la spatialité. La spatialité se définit dans cette étude comme un indice de distance entre l'arbre compétiteur et l'arbre ciblé par la compétition (arbre cible). Un indice de compétition spatial d'un arbre compétiteur donné a un poids proportionnel, linéaire ou non, à sa distance à l'arbre cible. Un indice de compétition non spatial d'un arbre compétiteur a un poids indépendant de sa distance à l'arbre cible. Dans des peuplements complexes, avec des structures d'âges hétérogènes, comme les sites où des coupes partielles sont effectuées ou avec des régimes de perturbations complexes, les indices de compétition spatiaux expliquaient davantage l'effet de la compétition sur la croissance (Wagner et Radosevich 1998, Larocque 2002, Stadt, Huston et coll. 2007). Dans les sites homogènes de structure d'âge uniforme, il a été démontré que des indices de compétition non spatiaux sont suffisants pour expliquer l'effet de la compétition (Lorimer 1983). Dans l'étude de Filipescu et Comeau (2007) les indices de compétition spatiaux et non spatiaux étaient similaires, c'est la taille en hauteur de l'arbre cible qui avait davantage d'importance dans les sites uniformes. Pour Canham, Lepage et coll. (2004), c'est l'effet de l'ombrage qui a plus d'importance que la distance. Les modèles qui seront testés dans la présente étude comprennent des indices de compétition spatiaux et non spatiaux et considèrent des rayons d'influence différents autour de l'arbre cible. Le rayon d'influence permet de connaître jusqu'à quelle distance un effet compétitif peut s'observer sur l'arbre cible. L'étude permettra de déterminer si des indices de compétition non spatiaux expliquent mieux la croissance architecturale et radiale des pins blancs dans des sites aux structures d'âges uniformes. De plus, les pins blancs de l'étude dépassent souvent la canopée et subissent moins de compétition.

L'étude permettra de déterminer si un indice de compétition qui ne considère que les arbres compétiteurs avec un diamètre plus important que l'arbre cible (Hale, Gardiner et coll. 2012) expliquerait mieux l'effet de la compétition sur la croissance architecturale et radiale que des indices de compétition considérant tous les arbres compétiteurs à l'intérieur du rayon d'influence et qui considèrent plutôt des paramètres propres à l'arbre cible comme son diamètre (Rouvinen et Kuuluvainen 1997) ou sa surface terrière individuelle (Canham, LePage et coll. 2004).

Les modèles Artemis-2009 et Artemis-2014 (Power 2016) ont été paramétrés pour considérer divers types forestiers. Ces modèles (Power 2016) et le modèle SaMARE (Fortin, Bédard et coll. 2009) utilisent la surface terrière par groupe d'espèce pour simuler l'effet de la compétition sur le rendement. Les indices de compétition par espèce considèrent que chaque espèce possède des traits écologiques qui affecte de façon différentielle l'environnement et donc la compétition (Bella 1971, Claveau, Messier et coll. 2002, Delagrangé, Messier et coll. 2004, Canham, Papaik et coll. 2006, Valladares et Niinemets 2008). Les indices de compétition regroupant les espèces par groupes écologiques comme par exemple les espèces tolérantes ou intolérantes à l'ombre ce sont avérés moins efficaces pour expliquer l'effet de la compétition que les indices de compétition par espèces (Stadt, Huston et coll. 2007). Les indices de compétition par espèces n'ont pas été testés dans la présente étude par un souci de réduire le nombre de variables explicatives pour augmenter la puissance du modèle. Des indices de compétition incluant toutes les espèces sans distinction, selon les groupes conifères ou feuillus et la tolérance à l'ombre ont été testés. L'étude permettra de déterminer si les indices de compétition faisant une distinction entre conifères et feuillus expliquent mieux l'effet de la compétition sur la croissance architecturale et radiale que les indices de compétition totale ou par groupe fonctionnel de tolérance à l'ombre.

### **Modèles de croissance considérant le climat**

Les modèles Artemis-2009 et Artemis-2014 (Power 2016), mais aussi SaMARE (Fortin, Bédard et coll. 2009) utilisent des valeurs normales de 30 ans de précipitations annuelles totales et de la température annuelle moyenne. Dans la forêt tempérée, la phénologie des espèces est gouvernée par le climat contrasté. La phénologie du développement et l'impact que le climat a

sur elle devraient donc être inclus dans un modèle de prédiction de croissance. Il a été démontré que des valeurs normales de précipitations ne pouvaient pas modéliser un ralentissement de la croissance ou même la mortalité des tiges avec une échelle de climat sur 30 ans (Power 2016). Par exemple, l'effet d'une sécheresse prolongée sur la croissance ne pourra pas être modélisée (Adams, Guardiola-Claramonte et coll. 2009).

Plusieurs auteurs avaient précédemment associé la croissance architecturale et la croissance radiale d'espèces forestières avec des variables climatiques mensuelles de précipitations et de températures de l'année précédant la croissance et de l'année de la croissance (Vennetier, Girard et coll. 2011, Girard, Vennetier et coll. 2012, Huang, Bergeron et coll. 2013, Girard, Beaudet et coll. 2014, Buissart, Caraglio et coll. 2015, Ols, Hofgaard et coll. 2016). Les conditions climatiques de certains mois de l'année précédant la croissance ont un effet sur les cellules pré cambiales (Schweingruber 1996, Girard, Beaudet et coll. 2014) ou la formation des bourgeons (Vennetier, Girard et coll. 2013, Buissart, Caraglio et coll. 2015). La présente étude permettra de déterminer si les températures maximales mensuelles, minimums mensuelles, moyennes mensuelles et les précipitations totales (sous forme de pluie et de neige) moyennes mensuelles pour chaque mois de l'année précédant la croissance (n-1) et l'année de la croissance (n) ainsi que la température la moins froide du mois le plus froid de l'année (n-1) et de l'année (n) sont associées à la croissance architecturale et radiale du pin blanc.

Le taux de photosynthèse accélère avec l'augmentation des températures maximales, de la saison de croissance et du CO<sub>2</sub> dans l'air (Laroque et Smith 2003) sous un seuil de température spécifique à chaque espèce qui est rarement atteint (Santiago 2003, Marthews, Malhi et coll. 2012). La présente étude répondra à l'hypothèse selon laquelle les températures maximales de la saison de croissance (mai-septembre) auraient un effet positif sur la croissance architecturale et radiale et expliqueraient mieux la croissance que les autres variables de températures.

L'humidité du sol ou le régime de précipitations sont connus pour affecter la croissance primaire des conifères (Thabeet, Vennetier et coll. 2009), la croissance secondaire (Girard, Payette et coll. 2011) et même la survie des arbres dans certains cas extrêmes (Allen, Macalady et coll. 2010). Dans l'aire de répartition du pin blanc, les précipitations sont une fois à 1,5 fois supérieure à l'évapotranspiration ce qui fait que l'eau n'est pas limitante durant l'année (Wilson et Schmiede 1965). Cependant, le développement des divers compartiments a lieu à diverses

périodes spécifiques (Raven, Evert et coll. 2005). Des études sur des conifères boréaux (Girard, Payette et coll. 2011) et sur des feuillus québécois (Girard, Beaudet et coll. 2014) ont démontré que de fortes précipitations et de hautes températures en avril et en août seraient déterminantes pour la croissance radiale. La présente étude déterminera les températures et les précipitations de quels mois sont associées avec la croissance architecturale et radiale du pin blanc et dans quelle mesure.

# Méthodes

## Le choix des sites

D'abord, une banque de sites a été créée à l'aide d'une analyse multicritère. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel ArcMap 10.1(ESRI 2012). Des critères édaphiques et biotiques des polygones du 4<sup>e</sup> inventaire forestiers (MFFP 2013) ont été considérés afin de sélectionner les sites à haut rendement tout en conservant un nombre important de sites potentiels dans la banque de données. Les critères de l'analyse étaient : la dominance ou codominance du pin blanc, la densité de peuplement supérieure à 40%, une pente de moins de 10% et une classe de drainage modéré (soit entre 3-4). La banque de données obtenue à la suite de l'analyse était constituée de plus de 800 sites. La pente minimale contrôle aussi pour l'orientation et retire de l'analyse les sites trop escarpés et difficiles d'accès.

La classe d'âge était un critère important pour la sélection des sites. Des 800 sites de la banque de données, seuls les sites avec des classes d'arbres âgés entre 30 et 80 ans ont été conservés. Selon la documentation à ce sujet, la croissance radiale du pin blanc serait plutôt constante durant cette période (Boulet et Huot 2013) et donc possiblement linéaire. L'accessibilité (proximité d'une route) a aussi été considérée pour la sélection des sites.

Parmi les sites présélectionnés par l'analyse, quatre ont été choisis afin qu'ils forment un transect latitudinal entre eux. Sur chacun des sites, trois placettes circulaires de 800 m<sup>2</sup> ont été disposées au centre des peuplements afin de permettre l'échantillonnage par placette d'au moins quatre pins blancs pour une représentation égale de tous les sites. Les placettes ont été disposées à 25 m l'une de l'autre environ afin d'uniformiser l'écart dans les profils de sol. Pour chaque placette, 4 pins blancs (arbres cibles), ont été choisis pour les mesures décrites subséquemment. C'est donc 12 arbres cibles par latitude qui constituent le jeu de données. Les placettes présentaient peu de variation dans les caractéristiques de sols (Tableau 2), aucune dans le climat et peu de variation dans la structure des communautés du peuplement forestier (Tableau 1). Ils constituent donc des pseudos-réplicats au sens statistique. L'étude n'a donc présenté que quatre sites avec des climats différents. De plus, le gradient climatique entre les sites est faible due à leur proximité. Les sites couvrent une étendue de 2 degrés de latitude et 2 degrés de



longitude et l'altitude varie entre 78 et 392 m (Tableau 1) et ce, à l'intérieur de l'aire de répartition observée du pin blanc (Figure 2). La température moyenne entre les sites à l'extrémité du gradient latitudinale (BL et RFL) varie de maximum 4 degrés et pour le mois le plus chaud (juillet 2011) et pour le mois le plus froid (janvier 2004). Les précipitations entre les sites à l'extrémité du gradient de précipitations (BL et RFL) varient de 4 mm pour le mois avec le plus de précipitations (juin 2014) et de 1 mm pour le mois avec le moins de précipitations (mars 2010) (Figures 3a à 3d). L'on remarque aussi que le gradient de température est corrélé avec le gradient de précipitations. Le dispositif expérimental limite donc la variation de la croissance due au climat en plus de rendre difficile de distinguer la part de variation réelle due à la température et due aux précipitations.

## **Présentation des sites**

Les quatre sites sélectionnés se trouvent au Québec (Figure 2). Les sites forment entre eux un gradient latitudinal qui s'étend du sud du Québec, où se trouve la forêt tempérée de l'Est américain, vers le nord à la limite sud de la forêt boréale. Dans la zone à l'étude, il existe un gradient de biodiversité latitudinale où plusieurs espèces arborescentes atteignent la limite nord de leur répartition, c'est le cas pour le pin blanc (Bird, Bliss et coll. 2010, Brouillet 2010). Ces sites au sol sablonneux et à pente presque nulle permettent l'établissement d'une grande densité de pin (Boulet et Huot 2013) et l'aménagement avec protection des semis serait efficace donc permettrait une bonne régénération naturelle (Lessard, Blouin et coll. 2010). Les sites forment aussi un gradient altitudinal. Les altitudes étant plus élevées vers le nord.

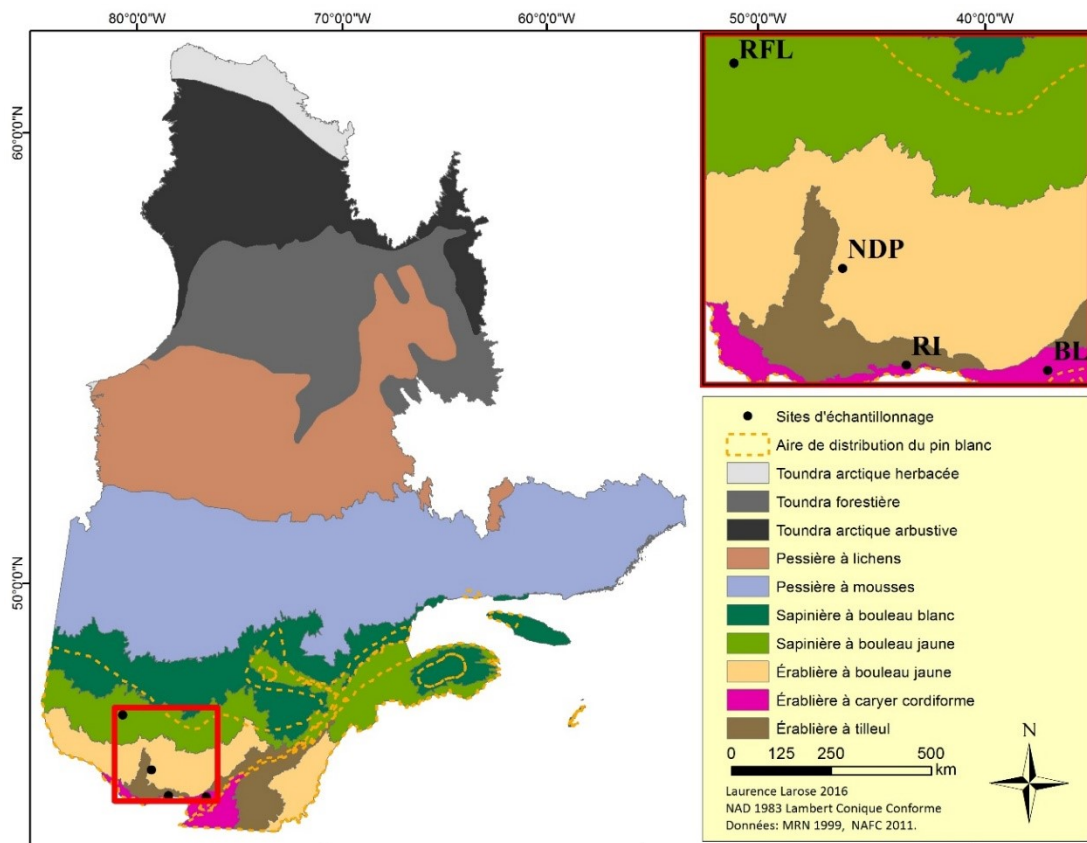


Figure 2. Localisation des sites de pinèdes blanches échantillonnées à l'été 2015 au Québec.

La limite des domaines bioclimatiques présentés du Ministère des Ressources Naturelles (MRN 1999) et le contour de l'aire de répartition du pin blanc provient du NAFC (2011). BL : Blainville dans les Laurentides; RI : Ripon en Outaouais; NDP : Notre-Dame-de-Pontmain en Outaouais; RFL : Réserve faunique La Vérendrye dans le secteur en Abitibi-Témiscamingue.

## **Blainville (BL)**

Le site de Blainville se situe dans le domaine bioclimatique de l'érablière à caryer cordiforme (Figure 2). Les coordonnées et l'altitude ont été obtenues à l'aide d'un GPS Garmin Oregon 650 d'une précision de 5 m. Le centre du site de Blainville se situait à 73,860° Ouest et 45,688° Nord (Tableau 1). L'altitude allait de 78 m à 86 m. La pente a été déterminée à l'aide d'un hypsomètre numérique de marque Haglöf Vertex IV d'une précision d'un angle de 0,1° ou d'une distance de 0,01m et elle était nulle pour le site de Blainville. L'exposition a été déterminée à partir du modèle d'élévation du Canada et est déterminée par l'orientation de la pente en degré. Lorsqu'il n'y avait pas de pente, il n'y avait pas d'exposition (NA). Le groupement d'essence a été obtenu selon les deux essences forestières dominantes relatives (DR) de chaque placette. Les méthodes qui ont été utilisées pour ce calcul étaient celles décrites par Cottam et Curtis (Cottam et Curtis 1956). Le groupement d'essence du site de Blainville correspondait à une pinède blanche à érable rouge (Tableau 1). Les méthodes pour obtenir la surface terrière, l'âge des pins blancs échantillonnés ainsi que leur hauteur seront décrites dans la section des variables explicatives du modèle de croissance considérant des facteurs environnementaux. La surface terrière incluait tous les arbres avec un DHP>0,1 m. Elle allait de 32,9 à 48,3 m<sup>2</sup>/ha (Tableau 1). L'âge des pins blancs échantillonnés allait de 30 à 71 ans et leur hauteur de 22,4 à 27,5 m (Tableau 1). Pour plus de détails sur la végétation qui était présente dans les sites, voir les ANNEXES C, D et E.

Un pèdon a été creusé sur chaque placette. L'épaisseur de l'horizon Ae et B ont été mesurés. L'horizon Ae est un horizon minéral d'éluviation caractéristique des podzols (Comité d'experts sur la prospection pédologique d'Agriculture Canada [C.E.P.P.E.A.] 1987). L'épaisseur de l'horizon Ae variait entre 1 et 9 cm entre les placettes du site de Blainville (Tableau 2). L'horizon B est un horizon minéral enrichi en matière organique, en sesquioxyde ou en argile (C.E.P.P.E.A. 1987). L'épaisseur de l'horizon B varie entre 29 et 45 cm entre les placettes du site de Blainville (Tableau 2). Le pourcentage de sable et de limon de l'horizon B1 a été obtenu en laboratoire par granulométrie avec la méthode hydrométrique (Sheldrick 1984, Klute 1986). Les horizons B1, B2 ont été déterminés selon un changement dans la couleur ou la texture de l'horizon B et l'horizon BC était la dernière strate de l'horizon B avant l'horizon C. Le pourcentage de sable des placettes du site de Blainville variait entre 88,63 et 96,66% (Tableau

2). Le pourcentage de limon variait entre 2,67 et 6,69% (Tableau 2). La capacité d'échange cationique moyenne à 22,5 cm de profondeur a été obtenue à partir des données d'ISRIC (International Soil Reference and Information Centre [ISRIC], 2013). Elle est de 19 cmolc/kg pour le site de Blainville. La couleur des horizons et le type de sol ont été déterminés selon le Système canadien de classification des sols (C.E.P.P.A.C, 1987). Le site de Blainville se trouvait sur podzol bien formé avec un sol profond et un horizon Ae bien défini (Tableau 2).

Les figures 3a à 3d présentent les températures et précipitations qui ont été enregistrées aux stations météorologiques les plus proches des quatre sites à l'étude de 2001 à 2014 (Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC] 2015). La température minimum moyenne mensuelle (Tmin) est une moyenne des minimums quotidiens du mois. La température maximale moyenne mensuelle (Tmax) est une moyenne des maximums quotidiens du mois. La température moyenne mensuelle (Tmean) est une moyenne des moyennes quotidiennes du mois. La température minimum minimum (Tminmin) est la température la moins froide enregistrée pour le mois le plus froid. Les précipitations totales moyennes (Ptot) correspondent aux précipitations moyennes mensuelles sous forme de neige et de pluies. La température moyenne mensuelle du site de Blainville variait entre -16°C en janvier 2004 à 23°C en juillet 2011 (Figure 3a). La température minimum moyenne mensuelle variait entre -20°C en janvier 2004 à 23°C en juillet 2011 (Figure 3a). La température maximale moyenne variait entre -12°C en janvier 2004 à 29°C en juillet 2011 (Figure 3a). La température minimum minimum variait entre -23°C en 2006 à -11°C en 2002 (Figure 3a). Les précipitations totales moyennes variaient entre 0,4 mm en novembre 2012 à 7,3 mm en juin 2006 (Figure 3a).

### **Ripon (RI)**

L'échantillonnage a été similaire au site de Blainville. Le site de Ripon se situe dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul (Figure 2). Le centre du site de Ripon se situait à 75,070° Ouest et 45,649° Nord (Tableau 1). L'altitude allait de 143 m à 189 m (Tableau 1). La pente principale des placettes se situait entre 5 et 10%. L'exposition se situait entre 183 et 225°. Le groupement d'essence du site de Ripon correspondait à une pinède blanche à chêne rouge

(Tableau 1). La surface terrière par placette allait de 17,4 à 18,6 m<sup>2</sup>/ha (Tableau 1). L'âge des pins blancs échantillonnés allait de 27 à 45 ans et leur hauteur de 12,4 à 18,1 m (Tableau 1).

L'épaisseur de l'horizon Ae variait entre 0,2 et 0,4 cm entre les placettes (Tableau 2). L'épaisseur de l'horizon B variait entre 4 et 13 cm (Tableau 2). Le pourcentage de sable des placettes du site de Ripon variait entre 91,26 et 96,66% (Tableau 2). Le pourcentage de limon variait entre 3,34 et 8,07% (Tableau 2). La capacité d'échange cationique moyenne à 22,5 cm était de 13 cmolc/kg (ISRIC, 2013). Le site de Ripon se trouvait sur un luvisol d'environ 20 cm couvert de mousse et de lichen où la croissance est faible (Tableau 2).

La température moyenne mensuelle variait entre -16°C en janvier 2004 à 21°C en juillet 2010 (Figure 3b). La température minimum moyenne mensuelle variait entre -20°C en janvier 2004 à 15°C en juillet 2010 (Figure 3b). La température maximale moyenne variait entre -12°C en janvier 2004 à 28°C en juillet 2012 (Figure 3b). La température minimum minimum variait entre -24°C en 2004 à -13°C en 2002 (Figure 3b). Les précipitations totales moyennes variaient entre 0,6 mm en avril 2001 à 6,4 mm en septembre 2010 (Figure 3b).

### **Notre-Dame-de-Pontmain (NDP)**

L'échantillonnage est similaire au site de Blainville. Le site de Notre-Dame-de-Pontmain se situe dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Figure 2). Le centre du site de Notre-Dame-de-Pontmain se situait à 76,836° Ouest et 46,190° Nord (Tableau 1). L'altitude allait de 157 m à 217 m (Tableau 1). La pente principale des placettes était de 2%. L'exposition se situait entre 270 et 280°. Le groupement d'essence était une pinède à sapin baumier pour les placettes un et trois et une pinède à pin rouge pour la placette deux. (Tableau 1). La surface terrière par placette allait de 22,5 à 28,3 m<sup>2</sup>/ha (Tableau 1). L'âge des pins blancs échantillonnés allait de 57 à 89 ans et leur hauteur de 16,6 à 25,7 m (Tableau 1).

L'épaisseur de l'horizon Ae était de 4 cm pour les trois placettes (Tableau 2). L'épaisseur de l'horizon B variait entre 4 et 13 cm (Tableau 2). Le pourcentage de sable des placettes du site de Notre-Dame-de-Pontmain variait entre 96,65 et 96,66% (Tableau 2). Le pourcentage de limon variait entre 2,68 et 3,34% (Tableau 2). La capacité d'échange cationique moyenne à 22,5 cm était de 12 cmolc/kg (International Soil Reference and Information Centre [ISRIC] 2013).

Le site de Notre-Dame-de-Pontmain se trouve sur un podzol sablonneux au sol profond (Tableau 2).

La température moyenne mensuelle variait entre -17°C en janvier 2004 à 21°C en juillet 2010 (Figure 3c). La température minimum moyenne mensuelle variait entre -22°C en janvier 2009 à 14°C en juillet 2010 (Figure 3c). La température maximale moyenne variait entre -12°C en janvier 2004 à 27°C en juillet 2012 (Figure 3c). La température minimum minimum variait entre -25°C en 2014 à -12°C en 2002 (Figure 3c). Les précipitations totales moyennes variaient entre 0,5 mm en mars 2010 à 6,2 mm en juillet 2009 (Figure 3c).

### **Réserve faunique de La Vérendrye (RFV)**

L'échantillonnage a été similaire au site de Blainville. Le site de la Réserve faunique de La Vérendrye se situe dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (Figure 2). Le centre du site de la Réserve faunique de La Vérendrye (RFV) se situait à 76,836° Ouest et 47,344° Nord (Tableau 1). L'altitude allait de 380 m à 392 m (Tableau 1). La pente et l'exposition étaient nulles (Tableau 1). Le groupement d'essence des placettes un et deux était une pinède blanche à pin rouge et le groupement d'essence de la troisième placette correspondait à une pinède blanche à épinette noire (Tableau 1). La surface terrière par placette allait de 18,1 à 34,4 m<sup>2</sup>/ha (Tableau 1). L'âge des pins blancs échantillonnés allait de 54 à 68 ans et leur hauteur de 17,4 à 29,4 m (Tableau 1).

L'épaisseur de l'horizon Ae variait entre 3 et 5,5 cm entre les placettes (Tableau 2). L'épaisseur de l'horizon B variait entre 27 et 49 cm (Tableau 2). Le pourcentage de sable des placettes du site de la Réserve faunique de La Vérendrye variait entre 89,97 et 97,99% (Tableau 2). Le pourcentage de limon variait entre 2,01 et 10,03% (Tableau 2). La capacité d'échange cationique moyenne à 22,5 cm était de 11 cmolc/kg (ISRIC, 2013). Le site de la Réserve faunique de La Vérendrye se trouvait sur un podzol au sol profond couvert de mousse (Tableau 2).

La température moyenne mensuelle variait entre -21°C en janvier 2004 à 19°C en juillet 2010 (Figure 3d). La température minimum moyenne mensuelle variait entre -26°C en janvier 2004 à 13°C en juillet 2010 (Figure 3d). La température maximale moyenne variait entre -15°C en janvier 2004 à 26°C en juillet 2005 (Figure 3d). La température minimum minimum variait

entre -26°C en 2014 à -15°C en 2002 (Figure 3d). Les précipitations totales moyennes variaient entre 0,4 mm en mars 2010 à 6,7 mm en septembre 2010 (Figure 3d).

Tableau 1. Caractérisation générale des placettes d'échantillonnage.

BL : Blainville; RI : Ripon; RFV : Réserve Faunique La Vérendrye ; NDP : Notre-Dame-de-Pontmain ; P : Placette; LAT : latitude en degrés décimaux; LONG : longitude en degrés décimaux; Alt : Altitude mesurée au centre de la placette; G: surface terrière en mètre carré par hectare (m<sup>2</sup>/ha) incluant les arbres DHP>0,1 m; H : Hauteur moyenne, minimum et maximum en mètre des pins blancs; Âge : Âge moyen, minimum et maximum des pins blancs obtenu par carottage; . Pente en pourcentage, exposition (Exp) en degré selon le modèle numérique d'élévation du Canada, les NA correspondent à une exposition inexistante due à une pente nulle, le groupement d'essence a été obtenu selon les deux essences forestières dominantes relatives (DR) de chaque placette.

Site	P	LAT	LONG	Alt	G	H	Âge	Pente	Exp	Groupement d'essence
BL	1	45,688	73,860	86	37,3	25,8 (24,6 à 26,5)	59,3 (56 à 63)	0	NA	Pinède blanche à érable rouge
	2	45,688	73,859	82	48,3	25,5 (23,1 à 27,5)	60,5 (38 à 71)			
	3	45,688	73,860	78	32,9	24,3 (22,4 à 26)	53,5 (30 à 71)			
RI	1	45,649	75,070	189	18,5	13,8 (12,4 à 17)	30,3 (27 à 36)	5	194	Pinède blanche à chêne rouge
	2	45,649	75,069	143	18,6	15,5 (13,1 à 18,1)	33,0 (31 à 36)	9	183	
	3	45,649	75,071	181	17,4	16,35 (15,5 à 17)	43,5 (40 à 45)	10	225	
RFV	1	47,344	76,835	380	34,4	24,9 (20,7 à 29,4)	61 (54 à 66)	0	NA	Pinède blanche à pin rouge
	2	47,344	76,836	392	27,1	23,0 (20,8 à 25,6)	65,3 (61 à 68)			
	3	47,344	76,836	390	18,1	18,7 (17,4 à 20,4)	59 (54 à 65)			Pinède blanche à épinette noire
NDP	1	46,189	75,696	217	28,3	21,6 (16,6 à 25,7)	59,8 (58 à 63)	2	288	Pinède blanche à sapin baumier
	2	46,1896	75,694	156	22,5	20,0 (18,1 à 21,9)	64,3 (57 à 77)		270	Pinède blanche à pin rouge
	3	46,19	75,695	215	22,7	22,9 (20,2 à 24)	81,8 (67 à 89)			Pinède blanche à sapin baumier



Tableau 2.Caractérisation des sols.

Ae : Épaisseur de l'horizon Ae, en centimètres; B : Épaisseur de l'horizon B en centimètres; Limon : Pourcentage de limon dans l'horizon B1, le premier horizon sous l'horizon Ae, obtenu par granulométrie avec la méthode hydrométrique; Sable : Pourcentage de sable dans l'horizon B1 obtenue par granulométrie; Couleur : la couleur des horizons Ae, B1, B2 et BC a été obtenue par la méthode décrite dans le Système canadien de Classification des Sols (C.E.P.P.E.A, 1987). NA correspond à une absence d'échantillon pour cet horizon; CEC : Capacité d'échange cationique moyenne en cmolc/kg à 22,5cm de profondeur obtenu à partir des données d'ISRIC (ISRIC, 2013); la description est qualitative et résulte des observations faites sur le terrain.

Site	P	Ae	B	Limon	Sable	Couleur Ae	couleur B1	couleur B2	couleur BC	CEC	Description
BL	1	9	29	2,67	96,66	gris foncé	brun foncé	brun pâle jaunâtre	NA	19	Sol > 2 m, podzol et Ae très bien définis
	2	1	45	6,69	88,63	gris très foncé		jaune pâle	NA		
	3	NA	NA	2,67	96,66	NA		jaune	gris pâle		
RI	1	0,3	10	3,34	96,66	NA	Absent	Absent	gris	13	Sol <0,25 m, luvisol, lichen et mousse, faible croissance
	2	0,35	13	8,07	91,26	NA					
	3	0,2	4	8,03	91,30	NA					
RFV	1	3	27	2,01	97,99	gris foncé	brun jaunâtre	NA	NA	11	Sol> 2 m, podzol, mousse
	2	5	49	10,03	89,97	gris		jaune	brun pâle jaunâtre		
	3	5,5	37	6,68					NA		
NDP	1	4	42	3,34	96,66	gris	brun jaunâtre	brun pâle jaunâtre	brun pâle jaunâtre	12	Sol> 2 m, podzol sablonneux
	2	4	62	2,68	96,65	gris rosé			NA		
	3	4	34			gris foncé			NA		

Figure a)

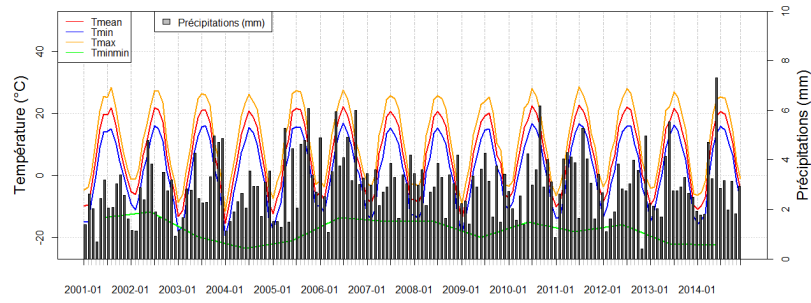


Figure b)

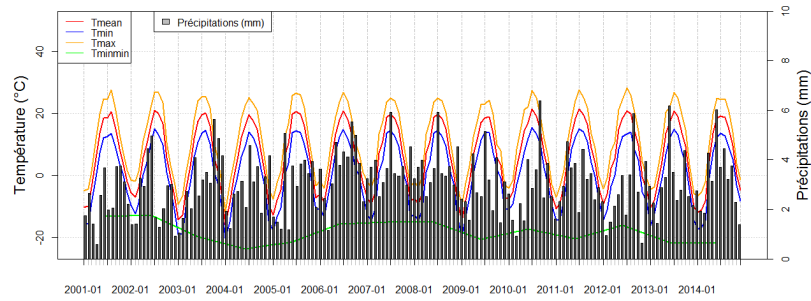


Figure c)

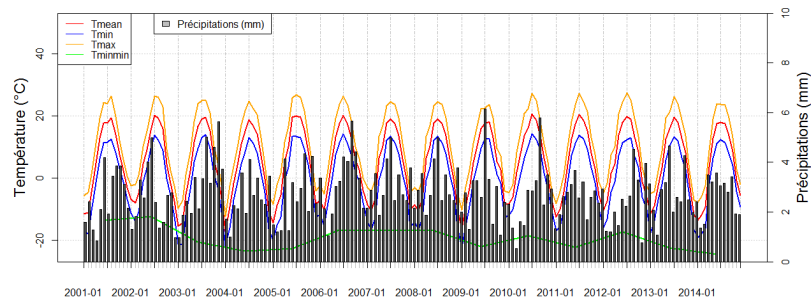


Figure d)

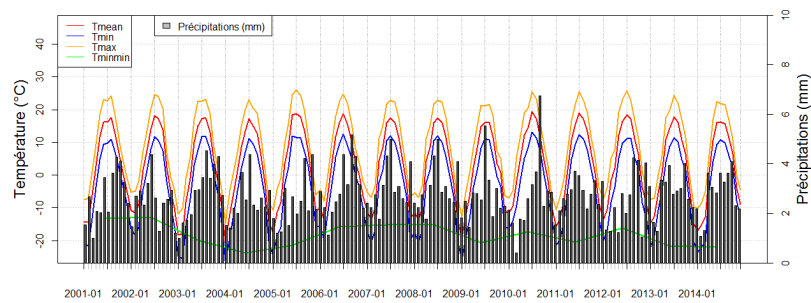


Figure 3. a) à d). Températures et précipitations des sites échantillonnées de 2001 à 2014.

Températures minimums, maximums, moyennes et minimums minimums ainsi que les précipitations totales moyennes mensuelles (MDDELCC 2015) pour le site de Blainville (a), Ripon (b), Notre-Dame-de-Pontmain (c) et de la Réserve Faunique La Vérendrye secteur Abitibi (d) de 2001 à 2014.

## **Échantillonnage, analyses et modélisation**

### **Échantillonnage**

À l'intérieur de chacune des trois placettes de 800 m<sup>2</sup> par site (quatre sites), quatre pins blancs ont été choisis aléatoirement pour l'échantillonnage. À des fins de clarté, ils ont été renommés arbres cibles. Plusieurs variables réponses de croissance ont été mesurées sur chacun des 48 arbres cibles.

### **Variables réponses**

#### *Croissance architecturale*

Les mesures de la croissance architecturale ont été effectuées suivant la méthode de l'analyse architecturale rétroactive du houppier modifié décrite par Girard, Vennetier et *al.* (2011). Sur les 48 arbres cibles, deux paires de branches dominantes et vivantes jusqu'à l'apex (celles contribuant le plus à la photosynthèse) ont été coupées dans le milieu et le haut de la couronne, le bas étant parfois naturellement élagué. Ces branches avec peu de défauts avaient été choisies puisqu'elles permettaient une meilleure interdatation et qu'elles contribuaient le plus à la photosynthèse. Cependant, elles ne permettent pas d'étudier la variation due à la compétition sévère ou un accident climatique (avortement de l'apex ou des bourgeons latéraux, très faible croissance). L'orientation de chaque branche a été notée. L'âge approximatif de la branche a été obtenu par le décompte des pousses annuelles de son apex jusqu'à son insertion sur le tronc de l'arbre. Sur l'axe principal des branches coupées, deux paires d'axes secondaires ont été sélectionnées selon leur vigueur l'un par rapport à l'autre. La première paire à environ 5 ans (HS, HW) de l'apex et la deuxième paire à environ 10 ans (MS, MW). Les variables architecturales ont également été prises sur l'axe principal (P) (Figure 4). L'année de chaque pousse annuelle a été obtenue par le compte des internoeuds. Le compte des internoeuds pour la datation est aussi valide que le compte des cernes annuels selon Bormann (Bormann 1965). La

datation a été validée par interdatation. Il s'agit d'une validation croisée entre l'âge des rameaux attachés à l'axe principal et leur position sur les pousses annuelles de l'axe principal. Sur chacun de ces 5 axes, le nombre de ramifications, la longueur de la pousse annuelle, le diamètre, le nombre de cônes, le nombre de fleurs mâles et la longueur des feuilles ont été notés. Ces variables ont été notées et mesurées pour les années 2000 à 2014. Il était facile de déterminer le nombre de ramifications pour les années récentes. Mais pour les années antérieures à 2006, les ramifications étaient souvent absentes et les cicatrices ont été comptés dans le nombre de ramifications. Les cicatrices provenant d'une ramification avortée après plusieurs années et celles d'une ramification avortée l'année de la croissance ont été confondues. Pour la présente étude, il était important de compter seulement les ramifications survivantes pendant plusieurs années puisque l'on voulait mesurer l'effet du climat sur le nombre de ramifications pour l'année mesurée. Pour la longueur de la pousse, certains arbres ont présenté du polycyclisme. C'est-à-dire qu'il y a eu une élongation à l'été suivi d'un arrêt marqué puis une deuxième élongation à la fin de l'automne. Dans cette étude, la longueur finale annuelle a été pris en compte sans distinction entre les deux élongations. Aucune fleur mâle n'a été observée sur les axes échantillonnés. Il n'y avait rarement des fleurs mâles et lorsqu'elles ont été observées, elles se trouvaient sur un axe de niveau supérieur, donc jamais sur l'axe principal ou secondaire. Seuls le nombre de ramifications et la longueur de la pousse annuelle ont été pris en compte dans les modèles présentés dans cette étude. Il n'y avait pas de patron de corrélation (linéaire ou autre) entre les autres variables réponses mesurées et les variables explicatives présentées dans la prochaine section (résultats non montrés). De plus, seules les mesures prises sur l'axe principal ont été conservées, car il y avait une corrélation linéaire évidente avec les variables environnementales et climatiques tandis qu'il n'y avait pas de patron de corrélation pour les autres axes (résultats non montrés).

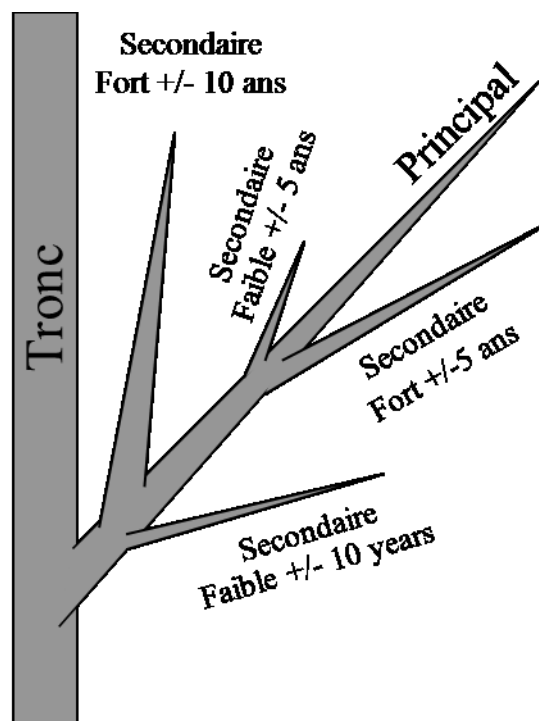


Figure 4. Échantillonnage hiérarchique pour l'analyse architecturale rétrospective du houppier du pin blanc.

Schéma traduit et tiré de Girard, Vennetier et coll. (2011).

### *Croissance radiale*

La croissance radiale des arbres cibles a été obtenue à l'aide d'une sonde de Pressler à la hauteur du DHP (Diamètre à hauteur de poitrine à 1,30 m). Chaque carotte a été séchée et collée sur un support de bois puis sablée finement jusqu'à ce que les cellules soient visibles sous un microscope à 40X. Une validation de la datation des cernes a d'abord été faite visuellement à l'aide de cernes diagnostiques (faux cernes, cernes minces, pâles, gelés ou incomplets) (Payette et Filion 2010, Marchand et Filion 2011). La croissance radiale de chacun des 48 pins blancs des 4 sites et 12 placettes a été mesurée pour les cernes annuels des années 2000 à 2014. L'âge minimum des arbres cibles a été estimé à partir du compte du nombre de cernes entre l'écorce et la moelle de l'échantillon prélevé. Lorsque le centre n'était pas présent, une estimation a été effectuée selon la méthode décrite dans Payette et Filion (Payette et Filion 2010). La validation a été effectuée par interdatation entre les différents échantillons mesurés de façon visuelle et à l'aide du logiciel Cdendro (Elektronik 2007).

## Tests de différence

D'abord, la normalité et l'homoscédasticité de la variance des variables réponses de croissance radiale, de longueur de pousse et du nombre de ramifications ont été testés à l'aide d'un test de Shapiro-Wilk (Razali et Wah 2011) et de Bartlett (Scherrer 2007) respectivement pour les données par placette et par site pour chaque année mesurée. La distribution pour ces trois variables s'apparente à une distribution de Poisson avec quelques classes vides vers la droite (Résultats non montrés). Lorsque la distribution s'apparente à une distribution de Poisson, la médiane est plus représentative du jeu de données que la moyenne (Sprent 1992). La médiane des variables réponses a aussi été utilisée pour la construction des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux et le climat. Les méthodes pour la création de ces modèles seront décrites dans les sections modèle de croissance considérant des facteurs environnementaux et modèle de croissance considérant le climat.

Puisque la distribution des données ne rencontrait jamais la loi normale et que la variance est hétéroscédastique, une analyse de variance de Kruskal-Wallis (Erceg-Hurn et Mirosevich 2008, McDonald 2009) a été utilisée pour tester la différence entre les croissances radiales des 12 placettes (Résultats non montrés) et des 4 sites pour chaque année mesurée séparément. Lorsqu'une année comportait des différences, le test Nemenyi a posteriori (Zar 1999) a été conduit. Ce test non paramétrique gère l'autocorrélation et un grand nombre de variables pour un petit nombre de données (Zar 1999). Pour la croissance radiale, aucune placette d'un même site n'a comporté de différence. C'est pourquoi les placettes pour un même site ont été considérées comme des répliquats et ont été regroupées en un seul site pour les tests de différences de la croissance architecturale. La croissance radiale est une variable stable qui est moins influencée que les variables architecturales par les conditions du milieu, ce qui justifie ce regroupement. Des tests de différence permettent de tester s'il existe une différence entre les placettes puis entre les sites pour une variable réponse donnée.

## **Variables explicatives des modèles considérant les facteurs environnementaux**

### *Qualité des sites*

Les méthodes utilisées pour mesurer les variables explicatives propres aux sites ont été décrites dans la section Présentation des sites. Les variables suivantes ont été testées dans les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux: la pente, l'exposition (Exp), l'épaisseur de l'horizon B en cm (B), le pourcentage de limon (Lim) dans l'horizon B1, le pourcentage de sable (Sa) dans l'horizon B1, l'altitude au centre de la placette (Alt) et l'appartenance au site. Les données d'exposition ont été transformées en valeurs binaires où zéro correspond à aucune exposition et un à présence d'exposition. L'appartenance au site (BL, RI, NDP ou RFV) était une variable qualitative qui a été transformée en quatre variables binaires. Pour chacune d'elle, un correspond à la présence de l'arbre cible dans le site et zéro correspond à l'absence de l'arbre cible dans le site. Par exemple, pour un arbre présent dans le site BL, les valeurs des variables BL=un, RI=zéro, NDP=zéro et RFV=zéro.

### *Variables propres aux arbres cibles*

Les variables explicatives propres aux arbres cibles suivantes ont été testées dans les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux. Il s'agit du diamètre initial de l'arbre cible. Le diamètre initial de l'arbre cible en m (DHPi\_m) et la hauteur (H) de l'arbre cible en m. Le diamètre initial de l'arbre cible correspond à la somme des largeurs de cernes mesurées sur la carotte de l'arbre cible jusqu'à l'année de la croissance radiale. D'autres variables explicatives avaient été considérées, mais n'ayant pas de patron de corrélation (linéaire ou autre) avec les variables réponses, elles ont été éliminées avant les analyses. Il s'agissait de l'âge de l'arbre cible, l'âge de la branche mesurée, la vigueur relative (Axe principal, fort, faible) et l'exposition de la branche (nord, sud). Toutes les méthodes de mesures de ces variables ont été décrites dans la section variables réponses.

### *Végétation au sol*

La strate de végétation au sol de l'étude regroupait toutes les plantes vasculaires et invasculaires de moins d'un mètre. Les plantes vasculaires ont été identifiées à l'espèce alors que les plantes invasculaires ont été regroupées selon deux groupes : les mousses et les lichens.

L'abondance a été estimée par la technique d'estimation par classe modifiée de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet 1965). La technique modifiée consistait en l'estimation selon les classes de 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75% et 100% dans une superficie d'un mètre carré à chaque 5 mètres le long d'un transect traversant le centre de la placette. Les données d'abondance sont présentées en ANNEXE E. Les données d'abondance des espèces de la strate de végétation au sol n'ont pas été testées dans les modèles de croissance parce qu'elles ne semblaient pas présenter de patron de corrélation, linéaire ou autre, avec les trois variables réponses.

### *Gaules et arbustes*

La strate de gaules et arbustes regroupe toutes les plantes ligneuses d'une hauteur supérieure à un mètre avec un DHP inférieur à 0,1 m. Les gaules ont été définies dans cette étude comme des arbres dont la hauteur et le diamètre, définis précédemment, n'étaient pas assez importants pour le commerce. Pour obtenir les données d'abondances, tous les gaules et arbustes d'une même placette ont été dénombrés. L'espèce a été notée. Les données d'abondances ont ensuite été regroupées selon trois types de classement pour créer cinq variables explicatives. Le premier classement était l'abondance totale, c'est-à-dire l'abondance de gaules et arbustes totale (StotG). Le deuxième classement était le type d'essence. L'abondance totale a été divisée en classant les espèces selon le type feuillu (SFG) ou le type conifère (SCG). Le troisième classement est la tolérance à l'ombre. L'abondance a été divisée selon les tolérants à l'ombre (STG) et les intolérants à l'ombre (SIG).

### *Indices de compétition*

Les arbres compétiteurs de l'étude incluaient tous les arbres à l'intérieur de la placette ayant un DHP supérieur à 0,1m. Le centre de chaque placette a été géolocalisé à l'aide d'un GPS Garmin Oregon 650 d'une précision de 5 m. Chaque arbre de plus de 10 cm de DHP a été positionné (distance et angle à partir du centre) dans la placette à l'aide d'un hypsomètre numérique de marque Haglöf Vertex IV d'une précision d'un angle de 0,1° ou d'une distance de 0,01m. Il est important de noter ici que les arbres cibles sont aussi des arbres compétiteurs puisqu'ils font potentiellement compétition aux autres arbres cibles de la placette. Dans le logiciel ArcMap 10.1, la position géographique des arbres compétiteurs et arbres cibles a été déterminée en deux étapes. D'abord, une ligne a été dessinée à partir du centre vers l'arbre cible



et vers l'arbre compétiteur en utilisant l'angle et la distance à l'aide de la fonction « bearing to line ». Ensuite, la position géographique de chaque arbre compétiteur et de chaque arbre cible a pu être obtenue à l'aide de la fonction « add geometry attributes ». La distance entre les arbres compétiteurs et chaque arbre cible a ensuite pu être déterminé à l'aide de la formule d'Haversine qui calcule la distance entre deux points d'une sphère (Robusto 1957). Le DHP et la hauteur (H) de ces arbres ont été mesurés à l'aide d'un ruban à DHP et d'un hypsomètre numérique de marque Haglöf Vertex IV d'une précision d'un angle de 0,1° ou d'une distance de 0,01m. L'espèce, le type et la tolérance de chaque arbre ont été notés. L'ANNEXE C présente la liste des arbres compétiteurs ainsi que les informations décrites ici haut. Ces informations ont servi au calcul des indices de compétition.

La surface terrière (G) a été utilisée pour le calcul de certains indices de compétition. Elle est un indicateur de la densité de peuplement d'âge commercial et permet de connaître la superficie du tronc d'un arbre en mesurant le diamètre à hauteur de poitrine (DHPi) (Evert 1968)

$$Gi = \pi/4 \left[ \text{DHPi} \right]^2$$

ou de connaître la superficie du tronc de toutes les essences forestières de grosseur commerciale (DHPi > 10cm) en faisant la somme de toutes les surfaces terrières individuelles.

$$G = \pi/4 \left[ \sum_i^n \text{DHPi} \right]^2$$

Les indices de compétition des modèles de croissance ainsi que les spécificités de leurs paramètres sont présentés dans le Tableau 3. Des indices de compétition spatiaux et non spatiaux ont été testés. Dans cette étude, un indice de compétition était spatial lorsque le poids de la compétition diminuait plus la distance entre l'arbre compétiteur et l'arbre cible était grande. Les indices de compétition spatiaux testés dans l'étude étaient l'indice de compétition « Competition Index » (CI) présenté par Rouvinen et Kuuluvainen (1997) qui tenait compte du diamètre et d'une distance non linéaire, l'indice de compétition des arbres voisins ou « Neighborhood competition index » (NCI) spatial développé par Canham et ses collaborateurs (2004) qui tenait compte du diamètre et de la distance linéaire, l'indice de compétition GCI qui lui tenait compte de la surface terrière et de la distance linéaire. Pour les indices de compétition non spatiaux, le NCII est l'homologue du NCI et le GCII est l'homologue du GCI. La formule était la même, sauf que les indices de compétition non spatiaux n'étaient pas pondérés par sa distance à l'arbre

cible. Un dernier indice de compétition non spatial a été testé. C'était l'indice CBAL présenté par Hale et ses collaborateurs (2012). Pour l'indice de compétition CBAL, seuls les arbres avec un DHP plus élevé que l'arbre échantillonné ont été pris en considération dans le calcul. Pour chacun des six indices de compétition, un indice par arbre compétiteur a été obtenu. Ensuite, un indice sommatif par indice de compétition et par arbre cible a été calculé selon les mêmes trois classements que l'abondance des gaules et arbustes. Le premier classement est la compétition totale, c'est à dire en tenant compte de tous les arbres compétiteurs. Le deuxième classement est le type d'essence : feuillus (F) ou conifères (C). Le troisième classement est la tolérance à l'ombre : tolérants à l'ombre (T) et intolérants à l'ombre (I). Les indices de compétition ont aussi été classés en ne considérant que les arbres compétiteurs dans un rayon d'influence donné autour de l'arbre cible. Les rayons pris en compte étaient 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10m.

Tableau 3. Les indices de compétition.

Formules mathématiques des indices de compétition spatiaux et non spatiaux où DHPi=diamètre de l'arbre compétiteur à 1,30 mètre ; Lij=distance entre l'arbre cible i et l'arbre compétiteur j; G=surface terrière des arbres compétiteurs; y = 1 pour les arbres avec un diamètre plus large que celui de l'arbre sujet, autrement y=0.

Type d'indice	Source	Formule mathématique	Paramètres
<b>Spatial</b>	Rouvinen et Kuuluvainen (1997)	$CI = n \sum_{j=i} \arctan(DHP_j/L_{ij})$	Non linéaire, diamètre, distance
	Canham, LePage et al.(2004)	$NCI = n \sum_{j=i} DHP_i^2/L_{ij}$	Diamètre, distance
		$GCI = n \sum_{j=i} G_i^2/L_{ij}$	Surface terrière, distance
<b>Non spatial</b>	Hale (2012)	$C_{BAI} = \sum G \cdot y$	Surface terrière, arbre plus gros
	Canham, LePage et al.(2004)	$NCH = n \sum_{j=i} DHPP_i^2/L_{ij}^0$	Diamètre
		$GCH = n \sum_{j=i} G_i^2/L_{ij}^0$	Surface terrière

Il est important de mentionner qu'une partie des données comportent une limitation causée dans la méthode d'échantillonnage des arbres compétiteurs. La figure 5 présente le plan d'échantillonnage. Les placettes de 800 m<sup>2</sup> échantillonnées ne couvrent pas toujours complètement les rayons d'influence autour des arbres cibles puisqu'ils sont situés trop près de la bordure de la placette. Il en résulte que certains arbres compétiteurs à l'intérieur du rayon d'influence de 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 m n'ont pas été échantillonnés. Pour pallier la lacune et minimiser le biais, le ratio entre la superficie non couverte par la placette et celle couverte a été utilisée comme diviseur de l'indice de compétition sommatif afin de couvrir le déficit de données. Cette opération a été effectuée en supposant que les sites se trouvent dans un peuplement homogène et qu'un effet miroir est approximativement exact. Le ratio de superficie couverte s'étend de 0,45 à 1 avec des moyennes allant de 0,85 à 0,96.

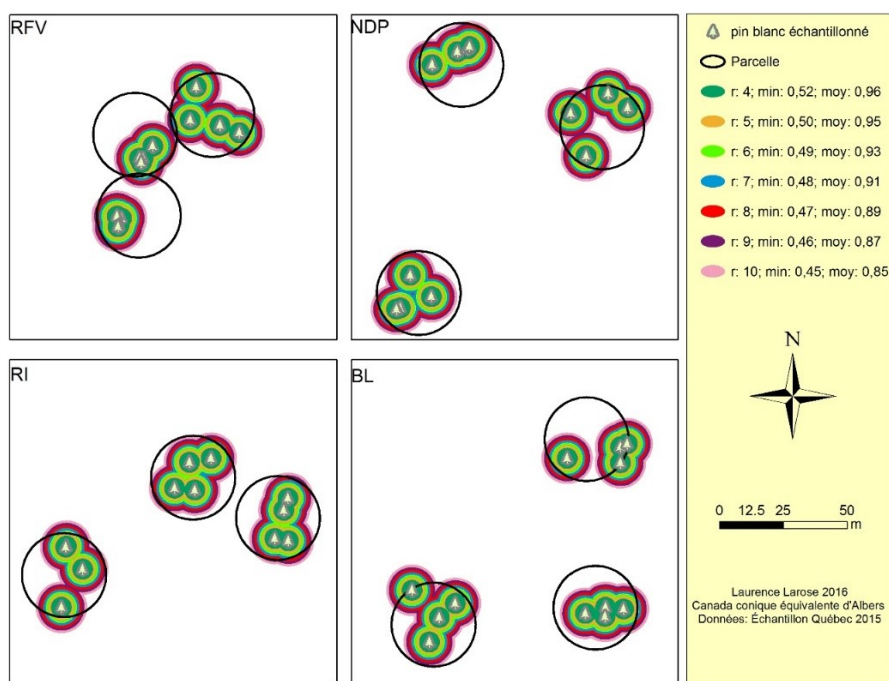


Figure 5. Plan d'échantillonnage.

Rayons d'influence autour des 48 pins blancs échantillonnés dans les 12 parcelles des 4 sites à l'étude. Les cercles noirs représentent les 12 parcelles de 800 m<sup>2</sup>. Les cercles de couleurs correspondent aux superficies prises en compte pour le calcul des indices de compétition. r : Rayon d'influence en mètres; min : ratio de couverture minimum de la parcelle d'échantillonnage; moy : ratio de couverture moyen de la parcelle d'échantillonnage.

## **Variables explicatives des modèles considérant le climat**

Les données météorologiques proviennent du logiciel BIOSIM et ont été obtenues par autorisation d'Environnement Canada (MDDELCC 2015). Il s'agit d'une moyenne des données météorologiques des quatre stations météorologiques les plus proches de chaque site. Les données de températures sont la température maximale du mois le plus chaud ( $T_{maxmax}$ ), la température la moins froide du mois le plus chaud ( $T_{minmax}$ ), la température la moins froide du mois le plus froid ( $T_{minmin}$ ), la température maximale du mois le plus froid ( $T_{maxmin}$ ), la température maximale mensuelle pour chaque mois de l'année ( $T_{max\_xx}$  où  $xx$  correspond au numéro du mois 01=Janvier, 02=Février, 03=Mars, 04=Avril, 05=Mai, 06=Juin, 07=Juillet, 08=Août, 09=Septembre, 10=Octobre, 11=Novembre, 12=Décembre), la température moyenne mensuelle ( $T_{mean\_xx}$ ) et la température minimale mensuelle ( $T_{min\_xx}$ ). Les données de précipitation sont les précipitations totales (sous forme de pluie ou de neige) moyennes mensuelles ( $P_{tot\_xx}$  où  $xx$  correspond au numéro du mois). Les températures minimums, maximums, moyennes et minimums ainsi que les précipitations totales moyennes mensuelles pour chaque site sont présentés aux figures 3a) à 3d). Chaque type de données météorologiques a produit deux variables explicatives. Il s'agit des données météorologiques de l'année précédant la croissance et celle de l'année de la croissance. Par exemple pour l'année 2001, les données météorologiques de l'année de la croissance correspondaient aux mois de janvier à décembre 2001 tandis que les données météorologiques de l'année précédant la croissance correspondaient aux mois de janvier à décembre 2000. Il est important de souligner que les données météorologiques hivernales, de janvier et février par exemple, de l'année précédant la croissance ne sont pas celles qui précèdent tout juste le printemps de la croissance, mais bien celles de l'année d'avant.

## **Modélisation**

### **Les modèles de croissance considérant les facteurs environnementaux**

Cette étude a permis de produire trois modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux, un pour chacune des variables réponses présentées précédemment soit la longueur de la pousse, le nombre de ramifications et la croissance radiale. D'abord, la tendance dans la croissance due à l'âge de l'arbre a été enlevée à l'aide d'une courbe exponentielle

négative sur chacune des variables réponses (Schweingruber 1996, Legendre et Legendre 2012). Plusieurs transformations ont été testées par observation des courbes de croissance dans le temps. La transformation selon le logarithme en base 10 pour la longueur de la pousse et le nombre de ramifications et logarithme en base 2 pour la croissance radiale ont été choisis puisqu'elles semblent minimiser l'effet de l'âge. Aucune régression cubique n'a été appliquée, car il n'existe pas de tendance cyclique observable (Legendre et Legendre 2012) pour les 3 variables réponses comme dans le cas d'épidémies d'insectes ou de feux de forêt (Swetnam et Lynch 1989). Toutes les variables explicatives ont été centrées et réduites afin d'enlever l'effet de l'échelle (Legendre et Legendre 2012). Ensuite, la linéarité entre les variables explicatives et les variables réponses ont été testés une variable à la fois à l'aide de la fonction « lm » du logiciel R. La pente, l'exposition et la hauteur ont été retirées des analyses puisque la linéarité n'a pas été observée et qu'aucune transformation n'a pu rendre la corrélation linéaire. Avant de procéder aux analyses, 25% des données ont été retirés de façon aléatoire. Ces données ont servi au calcul du biais et de la précision (Walther et Moore 2005) sur le modèle retenu.

$$\text{Biais} = \sum_{i=j}^n (\text{Observée} - \text{Prédite}) \backslash n$$

$$\text{Précision} = \sum_{i=j}^n ((\text{Observée} - \text{Prédite})^2) \backslash n$$

Où n correspond au nombre de données observées. Chacun des six indices de compétition dans chacun des sept rayons d'influence ainsi que les trois classes d'arbres ont été testés dans des analyses différentes. En considérant toutes les possibilités, 378 analyses de type « stepwise forward » ont été menées pour trouver le modèle le plus explicatif tout en étant le plus parcimonieux, c'est-à-dire avec un nombre de variables explicatives minimal. Les analyses ont été conduites à l'aide du logiciel R. Avant de commencer les analyses, les variables apportant de la colinéarité entre les variables explicatives ont été retirées. Pour ce faire, la multicolinéarité selon le facteur d'inflation de la variance (VIF) a été testée (Legendre and Legendre 2012). Le VIF pour la variable j se calcule ainsi

$$\text{VIF}_j = 1/(1-R^2_j)$$

Où  $R^2_j$  est le coefficient de détermination de la variable  $j$  sur les autres variables explicatives (Legendre and Legendre 2012). Il augmente lorsque cette variable est corrélée avec les autres variables explicatives de la régression. Par exemple, lorsqu'il est près de 9, l'erreur du modèle est trois fois plus importante, ce qui signifie que le coefficient de détermination devra être trois fois plus grand pour être statistiquement valable (Williams 2015). Les variables ayant un VIF inférieur à 5 (Neter et *al.*, 1996 dans (Legendre et Legendre 2012) ont été conservées dans les analyses. Le choix des variables a été fait via la fonction R `VIF_func` développée par Gaudreau (2015). Ensuite, les analyses « stepwise forward » ont été conduites. Après 100 000 permutations, le modèle le plus explicatif et parcimonieux a été celui ayant obtenu le AIC le plus bas (Mazerolle 2006, Legendre et Legendre 2012). Des 378 modèles retenus, celui ayant le  $R^2$  ajusté le plus élevé a été considéré le modèle le plus explicatif et parcimonieux (Legendre et Legendre 2012). La même méthode a été utilisée de façon indépendante pour les trois variables réponses pour obtenir trois modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux.

### **Les modèles de croissance considérant le climat**

Dans le cadre de la présente étude, trois modèles de croissance considérant le climat ont été produits, un pour chacune des variables réponses transformées présentées dans la section des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux. La linéarité de la corrélation entre les variables réponses et chacune des variables explicatives a été testée une variable à la fois à l'aide de la fonction « `lm` » du logiciel R. Les variables explicatives qui ne présentaient pas de linéarité même après transformation ont été retirées de l'analyse. Pour chacune des trois variables réponses, le modèle le plus explicatif et parcimonieux a été déterminé en une seule analyse de type « stepwise forward ». Cette analyse a été décrite précédemment dans la section des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux. Avant de procéder aux analyses, 25% des données ont été retirés de façon aléatoire pour le calcul du biais et de la précision (Walther et Moore 2005). Les variables ont été centrées et réduites afin d'enlever l'effet de l'échelle. La colinéarité entre les variables explicatives a été testée et les variables présentant un VIF supérieur à cinq ont été retirées de l'analyse (Legendre and Legendre 2012). Le modèle ayant le AIC le plus bas a été retenu, car il a été considéré comme le modèle le plus explicatif et parcimonieux (Mazerolle 2006; Legendre et Legendre 2012).

## Résultats

Les tableaux 4a) et 4b) présentent les différences entre les médianes des sites pour la longueur de la pousse (a) et le nombre de ramifications (b). Avant 2005, tous les sites étaient différents entre eux. À partir de 2005, quelques différences étaient observables entre les sites pour les deux variables. De plus, il y avait une similitude entre les deux variables. C'est-à-dire que lorsqu'il y avait une différence entre deux sites pour la longueur de pousse, la même différence était souvent présente pour le nombre de ramifications et vice-versa. Effectivement, ces deux variables étaient corrélées linéairement à 62,2% selon les données de l'étude. Pour ce qui est de la croissance radiale, seuls les sites RI et RFV comportaient une différence de médiane en 2012 seulement. Aucune corrélation entre la longueur de la pousse et la croissance radiale ou entre le nombre de ramifications et la croissance radiale n'a pu être démontrée dans cette étude (0% dans les deux cas).

Les figures 6a) à 6c) présentent les médianes de longueur de pousse en mm (a), nombre de ramifications (b) et de la croissance radiale annuelle en mm (c) par site pour chaque année échantillonnée. La longueur de la pousse annuelle variait entre 26 et 208,6 mm (Figure 6a). La médiane du nombre de ramifications annuelles variait entre aucune et trois ramifications (Figure 6b). La médiane de la croissance radiale annuelle variait entre 1,75 à 22,88 mm (Figure 6c). L'on a pu observer une diminution du taux de croissance dans le temps pour les trois variables.



a) Longueur de la pousse annuelle

Année	RFV-NDP	RI-NDP	RI-RFV	BL-NDP	BL-RFV	BL-RI	p-value K-W
2000	4,1952	9,7091	5,5139	15,6212	11,4260	5,9121	8,31E-02
2001	4,0228	9,3968	5,3740	14,5584	10,5356	5,1615	5,77E-05
2002	4,0240	10,0588	6,0348	13,9959	9,9719	3,9371	2,57E-04
2003	4,1812	10,8093	6,6282	14,1412	9,9600	3,3319	1,22E-04
2004	2,7339	8,3949	5,6610	12,5336	9,7997	4,1387	3,48E-06
2005		4,4128	3,3855	8,0673	7,0400	3,6545	3,76E-03
2006		3,1797	3,0820	4,7592	4,6615		9,96E-02
2007				3,2142			7,24E-04
2008							1,66E-03
2009			3,4163	2,6839		3,6669	3,43E-04
2010	3,2970		3,8141			3,0785	3,03E-03
2011	3,1074		4,9813		4,1622		1,00E-05
2012	4,6534	3,1251					4,03E-05
2013	5,4709	3,1145			4,4057		8,75E-08
2014	4,7863		2,6893		3,1543		5,66E-05

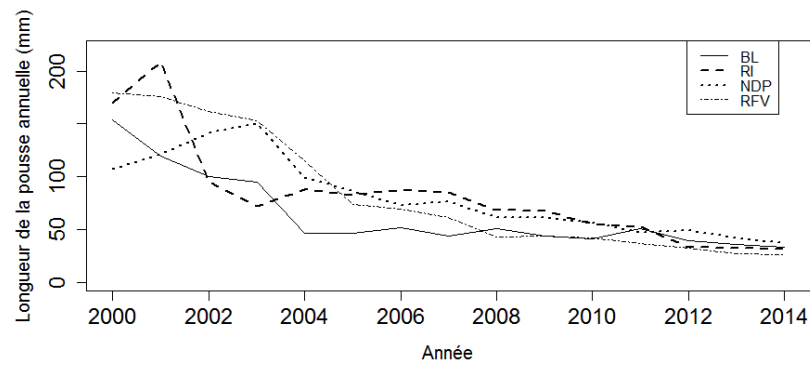
b) Nombre de ramifications

Année	RFV-NDP	RI-NDP	RI-RFV	BL-NDP	BL-RFV	BL-RI	p-value K-W
2000	4.1686	9.6032	5.4346	15.5907	11.4221	5.9875	6.97E-03
2001	4.0402	9.5799	5.5397	14.4798	10.4396	4.9000	3.33E-02
2002	4.1398	10.0148	5.8750	13.9214	9.7816	3.9066	7.85E-02
2003	4.1350	10.8473	6.7123	14.2337	10.0986	3.3864	2.68E-06
2004	2.6791	8.7696	6.0905	12.1787	9.4996	3.4091	5.50E-03
2005			3.0659	7.2036	6.5009	3.4350	7.11E-03
2006		2.8595		4.6797	4.1360		1.27E-03
2007							1.65E-06
2008				3.4830		3.5353	5.51E-05
2009	3.6413		5.4774			3.4950	2.54E-09
2010	3.9517		6.5383			4.1204	2.37E-07
2011	4.5926		4.6681				1.70E-05
2012	4.7326		4.1063		2.7075		1.22E-05
2013	4.9158	2.7802			3.3401		1.06E-05
2014	5.5072		4.2219		4.5511		1.14E-07

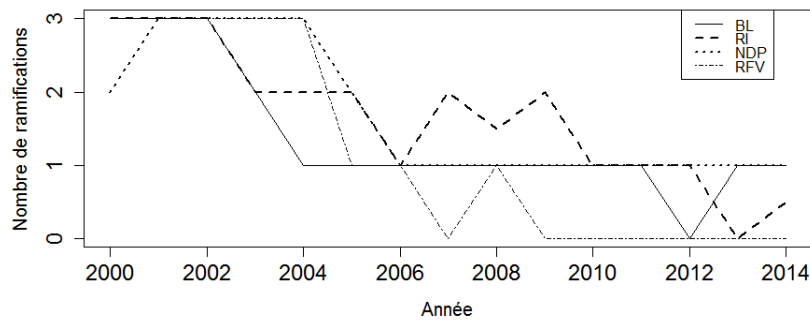
Tableau 4. Différences significatives entre les sites pour les années 2000 à 2014 pour les variables longueur de la pousse annuelle (a) et nombre de ramifications (b).

La section gauche du tableau correspond aux valeurs de  $\chi^2$  obtenu par le test post-hoc Nemenyi. Le seuil est 2,6383. Les sites ayant obtenu une valeur  $\chi^2$  supérieure au seuil sont différents entre eux. p-value K-W= La p-value obtenue par le test des différences non paramétrique Kruskal-Wallis entre les sites sur les médianes des pousses annuelles. BL=Blainville, RI=Ripon, NDP=Notre-Dame-de-Pontmain, RFV=Réserve faunique de La Vérendrye.

a)Longueur de la pousse annuelle



b)Nombre de ramifications



a)Croissance radiale annuelle

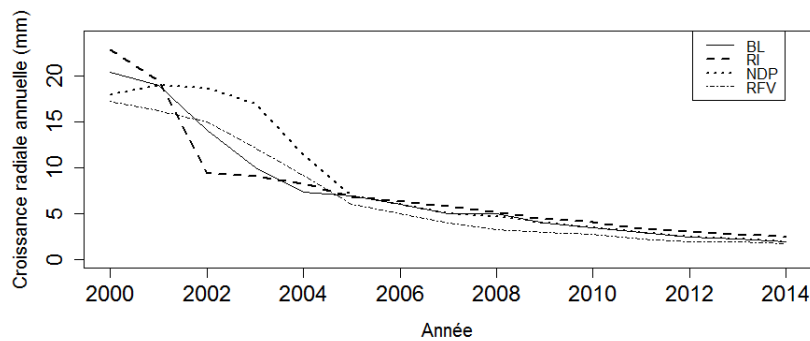


Figure 6. Médiane de la longueur de la pousse annuelle en mm (a), du nombre de ramifications (b) et de la croissance radiale annuelle en mm (c) des arbres cibles par site de 2000 à 2014.

BL=Blainville, RI=Ripon, NDP=Notre-Dame-de-Pontmain, RFV=Réserve faunique de La Vérendrye.

## Modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux

Les trois modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux sont présentés au Tableau 5. Les paramètres des trois modèles sont présentés dans l'ANNEXE A.

Le coefficient de variation du modèle de croissance considérant des facteurs environnementaux ayant comme variable réponse la longueur de la pousse (Log10) était de 17,7% et celui du modèle de croissance considérant des facteurs environnementaux ayant pour variable réponse le nombre de ramifications (Log10) avait un coefficient de variation de 7,0% selon le  $R^2_{aj}$  (Tableau 5). Pour les deux modèles, lorsque l'on tenait compte des 14 années du jeu de données (Tableau 5) cela permettait d'obtenir un  $R^2_{aj}$  plus grand en comparaison à des modèles comportant un jeu de données avec un nombre d'années réduit (résultats non montrés).

Le coefficient de variation du modèle de croissance considérant des facteurs environnementaux ayant comme variable réponse la croissance radiale annuelle (Log2) est de 65,9% selon le  $R^2_{aj}$  (Tableau 5). Pour ce modèle, lorsque l'on tenait compte de seulement deux années du jeu de données, cela permettait d'obtenir un  $R^2_{aj}$  plus grand en comparaison d'un modèle prenant en compte un jeu de données avec une seule année ou un nombre plus élevé d'années (résultats non montrés).

### *Qualité des sites*

Pour le modèle de croissance ayant pour variable réponse la longueur de la pousse (Log10), l'altitude et l'appartenance au site sont les variables qui ont contribué le plus au modèle selon le coefficient de variation de ces variables à l'intérieur des modèles (ANNEXE A). Selon les résultats obtenus, l'altitude élevée a été associée à une faible croissance (corrélation négative) (Tableau 5). L'appartenance au site RFV a été associée à une bonne croissance de la pousse (corrélation positive) alors que l'appartenance aux sites RI ou BL a été associée à une faible croissance (Tableau 5). Dans une moindre mesure, puisque le coefficient de variation est plus faible par rapport aux variables explicatives présentées jusqu'à maintenant, un pourcentage élevé de limon et de sable ont été associés à une bonne croissance. Parcontre, ces deux dernières variables ne sont pas significatives (Tableau 5).

Pour le modèle de croissance ayant pour variable réponse le nombre de ramifications (Log10), l'altitude n'a pas été associée à la croissance. L'appartenance au site RFV était la variable qui a contribué le plus au modèle (ANNEXE A). L'appartenance au site RFV a été associée à un nombre de ramifications faible (Tableau 5). Dans une moindre mesure, l'appartenance au site RI a aussi été associée à un nombre de ramifications faible (Tableau 5). Un pourcentage de sable élevé a été associé à un nombre de ramifications élevé mais n'est pas une variable significative (Tableau 5).

Pour le modèle de croissance ayant pour variable réponse la croissance radiale annuelle (Log2), l'appartenance au site RFV était la variable qui a contribué le plus au modèle (ANNEXE A). L'appartenance au site RFV a été associée à une croissance radiale élevée (Tableau 5).

#### *Variables propres aux arbres cibles*

Le diamètre initial de l'arbre cible a été retenue comme une autre variable importante du modèle de croissance de la pousse (ANNEXE A). Un fort diamètre initial a été associé à une faible croissance de la pousse (Tableau 5).

Tout comme pour la longueur de la pousse, un diamètre initial élevé a été associé à un nombre de ramifications faible (Tableau 5).

Avec un coefficient de variation presque aussi important que l'appartenance au site RFV, le diamètre initial a contribué de façon importante au modèle de croissance radiale (ANNEXE A). Un diamètre initial élevé a été associé à une croissance radiale élevée (Tableau 5).

#### *Gaules et arbustes*

Un nombre élevé de gaules et arbustes de type conifères a été associé à une bonne croissance de la pousse tandis qu'un nombre élevé de gaules et arbustes de type feuillus a été associé à une faible croissance (Tableau 5).

L'abondance de gaules et arbustes n'a pas été retenue dans le modèle du nombre de ramification considérant des facteurs environnementaux (Tableau 5).

Pour la croissance radiale, un nombre élevé de gaules et arbustes totaux ainsi qu'un nombre élevé de gaules et arbustes intolérants à l'ombre ont été associés à une faible croissance (Tableau 5).

### *Indice de compétition*

Finalement, l'indice de compétition qui a été retenu contribue presque autant au modèle de croissance de la pousse que l'appartenance au site RFV (ANNEXE A). L'indice retenu, le CBAL8.T, tenait compte de tous les arbres compétiteurs dotés d'un diamètre plus grand que l'arbre cible à un rayon d'influence de 8 mètres. Un indice élevé a été associé à une faible croissance de la pousse (Tableau 5).

Le même indice de compétition que pour le modèle de croissance de la pousse a été retenu pour le modèle du nombre de ramifications. Il s'agit du CBAL8.T et son coefficient de variation était le troisième en importance parmi les variables explicatives retenues pour le modèle. Un indice élevé a été associé à un nombre de ramifications faible.

L'indice de compétition retenue pour le modèle de croissance radiale est le CBAL8.F et tient compte des arbres compétiteurs de type feuillus dotés d'un diamètre plus grand que l'arbre cible dans un rayon d'influence de 8 mètres (Tableau 5). Un indice élevé a été associé à une faible croissance radiale.

Tableau 5. Modèles de croissance rétrospective du pin blanc de 2000 à 2014 dans l'est du Canada considérant des facteurs environnementaux.

Les années correspondent au nombre d'années de données rétrospectives imputées au modèle. Pour 2 années, les données de 2013 et 2014 ont été imputées au modèle. DHPi\_m= Diamètre initial à hauteur de poitrine (1,30 m) de l'arbre cible c'est-à-dire, sont diamètre avant l'année de croissance, RFV=Variable binaire correspondant au site de la Réserve Faunique La Vérendrye, RI= Variable binaire correspondant au site de Ripon, BL= Variable binaire correspondant au site de Blainville, CBAL8.T=Indice de compétition non spatial de Hale (2010) prenant en compte les feuillus et les conifères (T) dans un rayon de 8 m autour de l'arbre cible, CBAL8.F= Indice de compétition non spatial de Hale (2010) prenant en compte les feuillus (F) dans un rayon de 8 m autour de l'arbre cible, Altitude=Altitude en m au milieu de la parcelle où se trouve l'arbre cible, Limon=Pourcentage de limon retrouvé dans l'horizon B au milieu de la parcelle où se trouve l'arbre cible obtenue par hydrométrie, Sable= Pourcentage de sable retrouvé dans l'horizon B au milieu de la parcelle où se trouve l'arbre cible obtenue par hydrométrie, SFG=Abondance de gaules et arbustes feuillus dans la parcelle où se trouve l'arbre cible, STG=Abondance totale de gaules et arbustes feuillus et conifères dans la parcelle où se trouve l'arbre cible. SIG=Abondance totale de gaules et arbustes intolérants à l'ombre dans la parcelle où se trouve l'arbre cible. Tous les modèles sont significatifs, les variables suivies d'un astérisque (\*) sont significatives. Les paramètres sont présentés à l'ANNEXE A.

Variable	Années	Modèle	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Biais	Précision
Log10shoot	14	-DHPi_m*+RFV-CBAL8.T*-RI*-Altitude*+SCG+Limon+Sable-SFG*-BL*	0,177*	-0,040	0,828
Log10ramif	14	-RFV*-DHPi_m*-CBAL8.T*-RI*+Sable	0,070*	0,086	0,965
Log2Growth	2	DHPi_m*-CBAL8.F*-STG*+RFV*-SIG*	0,659*	-0,376	0,555

## Modèles de croissance considérant le climat

Les trois modèles de croissance considérant le climat sont présentés au Tableau 6. Les paramètres des trois modèles sont présentés dans l'ANNEXE B. Le coefficient de variation du modèle de croissance considérant le climat ayant comme variable réponse la longueur de la pousse (Log10) était de 12,5% selon le  $R^2_{aj}$  (Tableau 6). Le coefficient de variation du modèle de croissance considérant le climat ayant comme variable réponse le nombre de ramifications (Log10) était de 7,1% selon le  $R^2_{aj}$  (Tableau 6).

Le coefficient de variation du modèle de croissance considérant le climat, ou plus précisément le modèle dendroclimatique, ayant comme variable réponse la croissance radiale annuelle (Log2) était de 22,1% selon le  $R^2_{aj}$  (Tableau 6)

### *Températures et précipitations (n-1)*

Pour les trois modèles, des variables explicatives de températures de l'année précédant la croissance ont été retenues (Tableau 6).

Selon les variables explicatives qui contribuaient le plus au modèle par leur coefficient de variation élevé par rapport aux autres variables explicatives significatives du modèle, la croissance de la pousse était surtout prédéterminée par les températures de l'été précédant la croissance et par les précipitations printanières de l'année précédant la croissance (ANNEXE B). Plus précisément, une température maximale élevée en juin l'année précédant la croissance et de fortes précipitations en mai précédant la croissance ont été associées à une croissance favorable de la pousse (Tableau 6).

Le nombre de ramifications était surtout prédéterminé par les précipitations de l'année précédant la croissance (ANNEXE B). Plus précisément, de fortes précipitations en mai et novembre précédant la croissance ont été associés à un nombre de ramifications élevé alors que des précipitations en juillet et janvier ont été associées à un nombre de ramifications faible (Tableau 6).

De façon générale, la croissance radiale était surtout prédéterminée par les températures au printemps et à l'automne précédant la croissance et par les précipitations du printemps, de l'été et de l'automne précédant la croissance (ANNEXE B). Plus précisément, la température



maximale élevée d'avril et d'octobre de l'année précédant la croissance et les fortes précipitations de mai, juillet, septembre, octobre, novembre et décembre de l'année précédant la croissance ont été associées à une croissance radiale favorable (Tableau 6).

#### *Températures et précipitations (n)*

Pour l'année de la croissance, les températures au printemps et les précipitations au printemps et à l'été ont été considérées comme importantes pour la croissance de la pousse selon le modèle retenu (ANNEXE B). Plus précisément, la température moyenne élevée en mai et les fortes précipitations en avril, juin et juillet ont été associées à une faible croissance (Tableau 6).

Pour l'année de la croissance, les températures à l'été et les précipitations à l'été et à l'hiver ont été considérées comme importantes pour le nombre de ramifications selon le modèle retenu (ANNEXE B). Plus précisément, la température moyenne élevée en juin a été associée à un nombre de ramifications faible et les fortes précipitations en juin et mars ont été associées à un nombre de ramifications élevé (Tableau 6).

Pour l'année de la croissance, la température de fin d'été a été associé à la croissance radiale. Plus précisément, la température moyenne élevée de septembre a été défavorable à la croissance (Tableau 6). Les précipitations de l'année de la croissance ne sont pas ressorties dans le modèle dendroclimatique comme un facteur important.

Tableau 6. Modèles de croissance rétrospective du pin blanc de 2000 à 2014 dans l'est du Canada considérant le climat.

Les variables réponses des trois modèles retenus sont respectivement le logarithme en base dix de la longueur de la pousse annuelle en mm (Log10shoot), le logarithme en base dix du nombre de ramifications sur une pousse annuelle (Log10ramif) et le logarithme en base deux de la croissance radiale annuelle en mm (Log2Growth). Les années correspondent au nombre d'années de données rétrospectives imputées au modèle. Pour 14 années, les données de 2001 à 2014 ont été imputées au modèle tandis que pour 10 années les données de 2005 à 2014 ont été imputées au modèle.  $R^2_{aj} = R^2$  ajusté, Ptot = Précipitations totales moyennes quotidiennes pour un mois donné, Tminmin= Température minimale du mois le plus froid, Tmax= Température maximale pour un mois donné, Tmin= Température minimale pour un mois donné, Tmean= Température moyenne pour un mois donné, AV=Lorsque AV est présent, les données climatiques enregistrées correspondent à celles de l'année précédant la croissance. Lorsque AV n'est pas présent, les données climatiques enregistrées correspondent à celles de l'année de croissance. Tous les modèles sont significatifs, les variables suivies d'un astérisque (\*) sont significatives. Les paramètres sont présentés à l'ANNEXE B.

Variable	Années	Modèle	R <sup>2</sup> aj	Biais	Précision
Log10shoot	14	Ptot_11_AV*+Ptot_11*+Tminmin_AV*-Ptot_01_AV*+	0,125*	3,95E-16	0,911
		Ptot_02_AV*-Tmean_05*-Ptot_12*-Ptot_04*+			
		Ptot_05_AV*-Ptot_06*+Tmax_06_AV*-Ptot_07.			
Log10ramif	14	Tmean_11*+Ptot_11*+Ptot_02_AV*-Ptot_01_AV*.-	0,071*	2,45E-16	0,997
		Tmean_05*+Tmax_11_AV*			
		-Ptot_07_AV*+Ptot_05_AV*Tmean_06*+Ptot_06* -Ptot_07*+Ptot_02*-Ptot_03*+Ptot_11_AV*			
Log2Growth	10	Tmax_04_AV*+Ptot_10_AV*+Tmax_10_AV*-Ptot_01_AV*	0,221*	5,42E-02	0,819
		+Ptot_07_AV*+Ptot_09_AV*-Tmean_09*+Ptot_05_AV*			
		+Ptot_11_AV*+Tmean_01*+Ptot_12_AV*+Ptot_04_AV*+Tmin_12_AV*- Ptot_02_AV*			

## Discussion

### Modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux

#### *Qualité des sites*

La croissance radiale du pin blanc ne semble pas dépendre des caractéristiques du sol selon cette étude et les caractéristiques de sols pour les variables architecturales n'étaient pas significatives. Pourtant, plusieurs études ont considéré les sites de sable et de limon comme étant de bons sites pour l'établissement et la croissance du pin blanc (Burns et Honkala 1990). L'élongation de la pousse corrélée positivement (non significatif) à un pourcentage de limon élevé et un pourcentage de sable élevé de l'horizon B selon les résultats des modèles. Le pourcentage élevé de sable permet aussi un plus grand nombre de ramifications (non significatif). Dans les sites sablonneux, le pin blanc développe un système racinaire avec plus de ramifications fines et profondes (Brown et Lacate 1961). Cette aptitude lui permet de résister à la dessiccation plus facilement que les espèces de feuillus avec lesquelles il s'associe (Burns et Honkala 1990) comme le chêne rouge, l'érable à sucre ou l'érable rouge. D'autant plus qu'il est moins résistant à l'ombre que les arbres compétiteurs précédemment nommés, cette particularité lui permet de dominer la canopée des sites de sables (Burns et Honkala 1990). Les pins blancs dominants ont tendance à avoir une couronne plus développée en largeur comparativement aux pins blancs sous couvert selon une étude comparative effectuée sur des pins blancs de 60 ans au New Hampshire (Bormann 1965). La relation entre un système racinaire bien établi et la longueur de la pousse chez les pins blancs dominants est établie depuis longtemps (Tarbox et Reed 1924). Dans cette présente étude, les quatre sites étudiés étaient des sites de sables afin d'obtenir des peuplements à dominance de pins blancs. La faible variation dans la texture du sol du jeu de données pourrait expliquer la faible importance des caractéristiques du sol dans les modèles. Afin de connaître la part des caractéristiques du sol dans la croissance des pins blancs, il aurait fallu échantillonner une plus large variété de types de sols dans le dispositif expérimental.

L'altitude est la variable qui contribue le plus à diminuer la longueur de la pousse selon les résultats obtenus. L'altitude des sites de l'étude vont de 78 à 392 m (Tableau 1) et se trouvent

sous les limites de présence du pin blanc relevées dans la littérature qui sont entre 150 et 610 m et vont même parfois jusqu'à 1220 m dans les Appalaches (Wilson et Schmiede 1965). Cependant, ces sites se retrouvent plus au sud que les sites de la présente étude. De plus, l'altitude se retrouve dans le même gradient que la latitude, les sites plus au nord étant plus élevés en altitudes. Cette forte corrélation rend difficile à dissocier la part de chaque phénomène dans l'explication de la diminution de la longueur de la pousse. Dans la littérature, l'on retrouve une association entre la diminution de la croissance chez les végétaux et la proximité avec les limites nordiques ou altitudinales (Gamache et Payette 2004, Vallee et Payette 2004, Pichler et Oberhuber 2007). La longueur de la pousse est sans doute diminuée par l'effet combiné de la latitude et l'altitude.

Les facteurs environnementaux non mesurés du site RFV sous-entendus dans la variable d'appartenance au site contribuent à augmenter la longueur de la pousse et la croissance radiale et diminuer le nombre de ramifications. Les variables d'appartenance au site combinent une multitude de facteurs et phénomènes non pris en compte dans les analyses, il est difficile de dissocier la part de la variation provenant de cette combinaison de facteurs souvent interreliés comme le régime de perturbation ou les coupes partielles (Ruel 1992).

#### *Variables propres aux arbres cibles*

Pour les pins blancs de la présente étude, la longueur de la pousse et le nombre de ramifications diminuent avec l'augmentation du diamètre initial. Plus un arbre est âgé et plus il a de réitérations des éléments architecturaux composant la branche : la pousse annuelle, les rameaux, les feuilles et les organes sexuels. La documentation sur l'architecture décrit une tendance allant vers une diminution de la croissance à l'extrémité des branches afin de les alléger et diminuer le risque de cassures lié au poids (Laplante 2012). De plus, le diamètre de l'arbre peut être utilisé comme un proxy de l'âge de l'arbre (Curtis 1967, Yang et Hazenberg 1991). La corrélation négative entre la croissance architecturale et le diamètre initial met donc en évidence la tendance vers une diminution de la taille (longueur de la pousse, nombre de ramifications) des réitérations architecturales avec les années.

La relation positive entre le diamètre initial et la croissance radiale est connue et largement utilisée dans les modèles de prédiction de la croissance (Assmann 1970). Les arbres

à fort diamètre sont plus résistants à la compétition (Fortin 2005). Le diamètre a une relation allométrique avec la hauteur (Henry et Aarssen 1999). Cette particularité donne aux arbres à fort diamètre un avantage compétitif pour la lumière (Boivin, Paquette et coll. 2010). De plus, une plus grande production de cellules cambiales augmente la surface de xylem et la capacité de l'arbre à se procurer l'eau nécessaire à la production et au maintien des feuilles, ce qui nécessairement augmente sa productivité (Rossi, Anfodillo et coll. 2013). Dans le modèle de croissance radiale présenté dans cette étude, il s'agit de la deuxième variable la plus importante, confirmant le lien important entre croissance radiale et diamètre initial.

### *Gaules et arbustes*

Dans la présente étude, la longueur de la pousse est affectée négativement par la présence des arbustes et gaules de type feuillu. Les feuillus de la strate intermédiaire principalement mesurée dans cette étude sont le chêne rouge, l'érable rouge et le noisetier à long bec. Au printemps, les arbustes et gaules de types feuillus puisent dans leurs réserves, mais aussi dans le sol des nutriments comme le phosphore, le calcium ou l'azote pour le développement des feuilles (Chapin III 1983). Par ce phénomène, mais aussi par leur nombre important, ils pourraient représenter une part importante de la compétition malgré leur petite taille ce qui justifie souvent leur retrait pour favoriser la croissance (Nolet, Delagrangue et coll. 2015). En effet, en se cumulant, plusieurs petits arbres dans un certain rayon autour d'un arbre cible peuvent avoir le même effet qu'un nombre plus petit de grands arbres puisqu'ils puisent les nutriments dans les mêmes compartiments (Bella 1971).

La croissance radiale du pin blanc a été affectée négativement par les gaules et arbustes tolérants et intolérants à l'ombre à des degrés différents. Les gaules et arbustes tolérants ont un plus grand impact sur la croissance radiale. L'espèce tolérante de la strate intermédiaire la plus présente dans les sites était le sapin baumier suivi de l'érable rouge et du chêne rouge. Dans une étude au Minnesota, le sapin baumier était le plus grand compétiteur de la strate intermédiaire et de la canopée pour les semis de pin blancs (Krueger, Zenner et coll. 2007). Pour une autre étude sur quatre espèces de la forêt mixte boréale, le sapin baumier était le plus compétitif sur la croissance des autres sapins baumier et des peupliers faux-trembles juvéniles (Boivin, Paquette et coll. 2010).

### *Indices de compétition*

Plusieurs études ont soulevé que les indices de compétition dépendant de la distance (spatial) étaient plus explicatifs que les modèles non dépendants de la distance (non spatial) (Bella 1971, Biging et Dobbertin 1992, Biging et Dobbertin 1995, Canham, Papaik et coll. 2006). Contrairement à ces études, les modèles présentés ont tous les trois retenu l'indice CBAL qui est non spatial. Selon cet indice, l'effet compétitif n'est pas inversement proportionnel à la distance, mais tient compte de tous les arbres compétiteurs plus gros (en diamètre) que l'arbre cible, peu importe sa distance à l'intérieur du rayon d'influence (8 m). Il existe une allométrie entre diamètre et hauteur (Henry et Aarssen 1999). D'autres études avaient trouvé des résultats similaires en considérant que la hauteur des arbres a un effet compétitif sur divers espèces nord-américaines (Canham, Papaik et coll. 2006, Hartmann, Beaudet et coll. 2009) et avec des pins blancs juvéniles (Krueger, Zenner et coll. 2007). Les arbres plus hauts ont une plus grande capacité à soutirer les nutriments et l'eau et font de l'ombre (Schwinning et Weiner 1998, Hartmann, Beaudet et coll. 2009). La zone d'influence de 8 m correspond à la surface de chevauchement de l'arbre compétiteur et de l'arbre cible tant au niveau de la couronne qui constitue la zone qui porte ombrage à l'arbre cible, tant au niveau racinaire (Nambiar et Sands 1993, Biging et Dobbertin 1995, Pretzsch 1995).

La croissance radiale a été affectée négativement par la compétition provenant des arbres plus gros que l'arbre cible et de type feuillu. D'autres études sur d'autres espèces au Canada avaient également conclu que les feuillus étaient plus compétitifs que les conifères (Liefers, Stadt et coll. 2007). Les arbres de type feuillus ont une couronne plus dense (Nambiar et Sands 1993) ce qui les rend plus compétitifs que les conifères pour la luminosité. Comme présentés précédemment, les feuillus puisent plus de cations du sol que les conifères pour l'élongation des feuilles chaque printemps (Chapin III 1983). En contrepartie, la croissance architecturale n'a pas été affectée de façon différente par un type d'arbre, mais l'a été par tous les arbres compétiteurs le dominant en diamètre. Les conifères ont tendance à acidifier le sol (Augusto, Ranger et coll. 2002) qui pourrait avoir un effet négatif sur la capacité du sol à garder les éléments Ca et Mg très sollicités lors de la croissance primaire. Les arbres compétiteurs qui surplombe les arbres cibles étaient principalement les autres pins blancs, les érables rouges, les pins rouges, les sapins baumiers et les chênes rouges (ANNEXE C).

## *Observations*

Les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux permettent de mettre en relation des facteurs de qualité de sites, de variables propres à l'arbre cible, de compétition (gaules et arbustes et indices de compétition) avec la croissance architecturale (longueur de pousse et nombre de ramifications) et la croissance radiale (largeur de cerne). Les résultats des tests de corrélation et des tests de différences suggèrent que les facteurs permettant la croissance architecturale et la croissance radiale sont différents. Effectivement, la croissance architecturale mesurée, qui dépend surtout de la croissance primaire (élongation, formation des bourgeons apicaux et latéraux) est influencée différemment par l'environnement et la compétition que la croissance radiale qui elle dépend de la croissance secondaire (formation des cellules de xylème). L'on remarque toutefois, surtout en observant les variables explicatives des modèles de croissance, qu'il existe aussi des différences de réponse à l'environnement et à la compétition entre les deux variables architecturales.

Les facteurs de compétition mis en relation dans les modèles de croissance architecturale expliquent faiblement la variation dans la croissance, surtout pour le nombre de ramifications ( $R^2_{aj}$  de 17,7% et 7,0% respectivement). Ceci pourrait être dû à la méthode d'échantillonnage qui sélectionnait les branches dominantes et vivantes jusqu'à l'apex. Les résultats sont tout de même intéressants pour expliquer l'effet de la compétition et de l'environnement sur ce type de branches, mais les coefficients de variation ne sont pas assez élevés pour prédire la croissance architecturale. Le modèle de croissance radiale considérant des facteurs environnementaux et de compétition explique bien la croissance ( $R^2_{aj}$  de 65,9%) et pourrait être utilisé comme modèle de prédiction.

## **Modèles de croissance considérant le climat**

### *Températures et précipitations (n-1)*

Les précipitations de l'année (n-1) peuvent être associées à une plus grande disponibilité des nutriments dans le sol l'année suivante suite à la recharge de la nappe phréatique (Girard, Beaudet et coll. 2014). Les précipitations du printemps (n-1), spécifiquement le mois de mai (n-1) semblent être prédéterminantes pour les trois types de croissance étudiés. Chez la plupart des

espèces boréales, le printemps est la période à laquelle la croissance secondaire débute et que les bourgeons éclatent (Raven, Evert et coll. 2005). Au moment où ces phénomènes se produisent, les cellules cambiales et les cellules qui formeront les bourgeons apicaux et latéraux de l'année suivante se forment et continuent leur croissance pendant l'été (Raven, Evert et coll. 2005, Laplante 2012).

La longueur de la pousse est aussi prédéterminée par les températures élevées de juin (n-1). Les températures chaudes permettent d'augmenter le taux de photosynthèse chez la plupart des espèces (Laroque et Smith 2003) et ainsi la séquestration de carbone. Au printemps, la croissance en diamètre de la tige est privilégiée chez le pin blanc (Ahlgren 1957) et la plupart des essences forestières (Raven, Evert et coll. 2005) afin d'augmenter la capacité de l'arbre à apporter nutriments et eau aux feuilles afin d'augmenter la séquestration de carbone et la productivité en générale.

Pour le nombre de ramifications, les fortes précipitations de chaque saison (n-1) semblent prédéterminer la croissance et même l'hiver (n-2). En hiver, les précipitations de mars (n-2) favoriseraient le nombre de ramifications alors que les fortes précipitations en janvier (n-1) défavoriseraient le nombre de ramifications chez les pins blancs étudiés. Comme présentées précédemment, les fortes précipitations de l'année précédente favoriseraient la recharge de la nappe phréatique et donc l'apport de nutriments (Girard, Beaudet et coll. 2014). Les résultats présentés ici suggèrent que l'apport de nutriments par les précipitations de mars favorise le nombre de ramifications deux ans plus tard. Cependant, les précipitations abondantes sous forme de neige en hiver (janvier) peuvent retarder le réchauffement du sol (Wipf, Stoeckli et coll. 2009) et donc retarder le départ de la saison de croissance. En été, les fortes précipitations en juillet (n-1) semblent réduire le nombre de bourgeons latéraux au profit de la formation des cellules pré cambiales du tronc, les précipitations de juillet (n-1) étant défavorables au nombre de ramifications et favorable à la largeur du cerne pour les pins blancs étudiés. À l'automne, les résultats de l'étude semblent démontrer que les fortes précipitations de novembre (n-1) sont bénéfiques au nombre de ramifications. La formation des bourgeons se poursuit jusqu'à l'automne et c'est le cas pour toutes les espèces forestières sous nos latitudes (Raven, Evert et coll. 2005).



Les températures printanières chaudes et hâtives en avril (n-1) et les températures chaudes tardives de l'automne en octobre (n-1) stimuleraient la croissance radiale l'année suivante. Au Minnesota, l'activité cambiale chez plusieurs conifères, dont le pin blanc, commence lorsque la température maximale dépasse 21,1 °C (Ahlgren 1957). Il a été démontré qu'un allongement de la saison de croissance par un printemps plus chaud et hâtif et un automne plus chaud et long permettrait d'augmenter le taux de cellules cambiales produites de façon exponentielle pour bon nombre de conifères, le printemps hâtif étant encore plus important dans l'augmentation de la croissance (Rossi, Anfodillo et coll. 2013). Chez l'épinette noire dans la forêt boréale, une augmentation de la température du sol au printemps peut stimuler la croissance radiale et la phénologie du cambium (Lupi 2012). Les précipitations du printemps (mai), de l'été (juillet) et de l'automne (septembre à décembre) de l'année précédant la croissance semblent être importantes dans la prédétermination de la largeur du cerne. Une étude sur des conifères de la région méditerranéenne continentale avait démontré que les précipitations au printemps et à l'automne stimulaient l'activité cambiale et la formation du bois surtout dans les sites bien drainés (Camarero, Olano et coll. 2010). Or, comme présenté dans la section des modèles de compétition, une plus grande formation de bois augmente la capacité d'apport en eau et permet une meilleure productivité. Ceci suggère qu'une bonne année de croissance serait bénéfique à la saison de croissance suivante.

#### *Températures et précipitations (n)*

De façon générale au printemps, les réserves et les nutriments sont utilisés pour la croissance primaire et secondaire qui démarre simultanément. Les bourgeons des aiguilles, des organes sexuels, les latéraux et ceux se trouvant à l'apex des rameaux éclatent et s'allongent au même moment que se forment de larges cellules de xylèmes qui permettront la circulation hâtive de la sève (Raven, Evert et coll. 2005).

Les fortes précipitations en avril, juin et juillet ainsi que les températures élevées de mai semblent défavoriser la longueur de la pousse. Cet effet négatif pourrait être dû à un effet de la compétition dans la croissance entre les compartiments. Plus la saison de croissance avance, et surtout à l'été, la compétition dans la croissance augmente et il se peut qu'un compartiment soit privilégié au détriment des autres dans l'allocation des ressources pour la croissance des tissus

(Buissart, Caraglio et coll. 2015). Par exemple, la différenciation du xylème a lieu entre avril et juin chez un nombre important de conifères nord-américains et européens (Rossi, Anfodillo et coll. 2013). Le dépôt de lignine aurait lieu en juin chez la plupart de ces espèces (Rossi, Anfodillo et coll. 2013). Pour les pins blancs au Minnesota, l'activité cambiale débute au printemps suivi dans l'ordre par la floraison, le développement des feuilles puis la formation des bourgeons des réitérations de l'année suivante (Ahlgren 1957). De plus, dans la présente étude, la croissance des bourgeons apicaux a aussi lieu en juin. Cependant, un autre phénomène dû à un régime de précipitations élevées pourrait être en cause dans la diminution de la croissance de la pousse. Si les précipitations ne sont pas limitantes, et c'est généralement le cas dans la forêt tempérée et l'aire de répartition du pin blanc (Wilson et Schmiede 1965) des températures élevées et des précipitations abondantes font augmenter l'humidité relative et diminuent la luminosité disponible pour la photosynthèse (Santiago 2003).

Le nombre de ramifications est prédéterminé par le nombre de bourgeons latéraux formés l'année qui précède la croissance. Conséquemment, un nombre réduit de ramifications dû aux températures chaudes de mai, juin et septembre (n) résultent de mortalité des rameaux causée par la sécheresse que la chaleur occasionne. La mortalité des rameaux faibles du pin d'Alep augmente dans le cas de déficit hydrique en méditerranée (Vennetier, Girard et coll. 2011). Les fortes précipitations de juin (n) augmentent l'humidité relative et permettent de réduire la mortalité des rameaux due à la sécheresse causée par la chaleur. Les fortes précipitations surtout sous forme de neige en hiver (mars) augmentent l'humidité du sol (Girard, Beaudet et coll. 2014) et pourrait diminuer le risque de sécheresses occasionné par la chaleur au printemps (mai).

Les températures élevées en septembre (n) seraient défavorables pour la croissance du cerne des pins blancs. Ces résultats ne sont pas concordants avec les résultats sur des conifères nord-américains et européens (Rossi, Anfodillo et coll. 2013) et sur d'autres espèces boréales (Huang, Tardif et coll. 2010). Cette diminution de croissance pourrait résulter d'un déficit hydrique causé par l'augmentation de l'évapotranspiration due à des températures élevées (Huang, Tardif et coll. 2010) d'autant plus qu'il s'agit d'un sol bien drainé de sable. Septembre est le mois où la différenciation cambiale a lieu chez plusieurs conifères (Rossi, Anfodillo et

coll. 2013). À cette période, un bon apport en eau est important pour la photosynthèse qui permet la séquestration de carbone nécessaire à l'activité cambiale.

### *Observations*

La fréquence des fortes précipitations semble plus important que la fréquence des températures favorables pour la croissance architecturale et radiale. Bien que l'établissement du pin blanc soit favorisé dans les sites de sables bien drainés grâce à sa capacité à faire des racines profondes (Pregitzer et Barnes 1984, Burns et Honkala 1990) sa croissance en hauteur et diamètre est favorisée avec l'augmentation de l'humidité dans le sol (Horton et Brown 1960, Buse 1992).

Le dispositif expérimental ne présentait que peu de variations climatiques (Figure 3a à 3d). De plus, les résultats des modèles basés sur seulement quatre sites ne permettent pas d'obtenir des modèles climatiques très robustes. Un meilleur dispositif pourrait être constitué d'un plus grand nombre de sites (e.g. 12 au lieu de 4) constitués de 4 ou 5 arbres dans un gradient de températures et de précipitations plus ample. Afin de mieux distinguer la part de variation entre la température et les précipitations, le dispositif devrait être constitué de deux sites par latitude avec des régimes de précipitations différents. De plus, tout comme dans la section des modèles de croissance architecturale considérant des facteurs environnementaux, le choix de branches dominantes et vivantes jusqu'à l'apex réduit la variation possible due aux facteurs climatiques. En effet, les défauts des branches peuvent résulter d'événements climatiques mesurables par les variables explicatives climatiques mensuelles des modèles. Par exemple, un gel tardif pourrait causer un avortement des bourgeons (Caraglio, Pimont et coll. 2007) ou une perte des aiguilles s'il y a des sécheresses en été (Girard, Vennetier et coll. 2012).

Pour toutes ces raisons, il est important d'interpréter les résultats avec prudence. Les coefficients de variation des trois modèles sont intéressants, mais ne sauraient être suffisants pour des modèles de prédiction de la croissance.

## Conclusion

La présente étude a permis l'avancement des connaissances de la modélisation de la croissance architecturale et radiale du pin blanc par le développement de six modèles explicatifs de la croissance du pin blanc dans l'est du Canada selon des facteurs environnementaux et climatiques.

Pour les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux, l'hypothèse selon laquelle la teneur en sable ou en limon élevée affecte la croissance de façon positive n'a pas pu être vérifiée car les caractéristiques des sols n'ont pas été retenues ou si elles étaient retenues, elles n'étaient pas significatives dans les modèles. Prendre en considération un plus grand nombre de sites avec des sols différents serait à considérer dans l'élaboration de modèles plus explicatifs et prédictifs. L'hypothèse selon laquelle de DHP initial aurait un effet positif sur la croissance radiale a été vérifiée mais l'effet inverse a été obtenue pour les deux croissances architecturales. L'effet de la végétation au sol sur la croissance n'a pas pu être vérifié car il a été impossible de trouver une tendance (linéaire ou autre) entre l'abondance de végétation au sol et les variables réponses. L'hypothèse selon laquelle les gaules de types feuillus et conifères affecteraient plus la croissance n'est pas tout à fait vrai. Selon les résultats obtenus, la longueur de la pousse a été affectée par les gaules et arbustes de types feuillus seulement, la croissance radiale par les gaules et arbustes tolérants et intolérants à l'ombre alors que le nombre de ramifications n'a pas été affecté par l'abondance des gaules et arbustes. L'hypothèse selon laquelle un indice de compétition considérant que les arbres plus gros que l'arbre cible, l'indice CBAL, c'est avéré vrai pour les trois variables de croissance. Cependant, la croissance radiale n'a été affectée que par les compétiteurs feuillus alors que la croissance architecturale a été affectée par tous les types de compétiteurs sans distinction de classe. Pour les modèles de croissance considérant le climat, l'hypothèse selon laquelle la croissance du pin blanc est affecté par les températures et précipitations de l'année précédant la croissance et de l'année de croissance a été vérifiée. Les températures et précipitations de l'année précédant la croissance étaient particulièrement déterminantes pour la croissance radiale. Cependant, les températures et précipitations des mois de croissance (mai-septembre) n'ont pas été les seules déterminantes pour la croissance.

### *Facteurs environnementaux*

Les sites de la présente étude étaient strictement sur des sites de sablonneux à dominance de pins blancs. Ces sites sont à privilégier pour l'aménagement des pins blancs à des fins commerciales ou simplement pour assurer une pérennité de la forêt. Les modèles de croissance architecturale et radiale retenus par la présente étude ont permis de connaître certains facteurs environnementaux et de compétition qui agissent sur la croissance architecturale et radiale afin d'améliorer les méthodes d'aménagement et se veulent aussi une première étape dans l'élaboration de modèles de prédiction de la croissance à des fins commerciales.

Pour les deux types de croissance, architecturale et radiale, le diamètre initial de l'arbre cible s'est avéré être un facteur important. Cette présente étude supporte l'idée que le diamètre initial, variable souvent présente dans les modèles de prédiction de la croissance des arbres, est indéniablement une variable à considérer dans l'élaboration d'un modèle prédictif de croissance d'essences forestières.

Les croissances architecturale et radiale ont été influencées négativement par la strate intermédiaire constituée des gaules et des arbustes. Cette strate est souvent omise dans les modèles de croissance, mais s'est avérée être une part importante de la variation des modèles présentés ici. Dans une optique d'aménagement à des fins commerciales, les forestiers auraient avantage à réduire cette strate, surtout les espèces de type feuillu, pour augmenter le développement du houppier, ou toutes les essences confondues pour aider la croissance radiale. Il faudrait toutefois penser à élaguer les branches basses des pins blancs si l'on applique cette méthode. Selon les résultats, l'effet de la compétition était différentiel selon la classe d'espèce. Il serait intéressant de connaître l'effet de la compétition par espèce en imputant aux modèles, dans une analyse future, une variable d'abondance par espèce pour la strate intermédiaire.

L'indice de compétition retenu par les trois modèles était un indice considérant que les arbres au diamètre plus grand que l'arbre cible dans un rayon de 8 m. L'indice ne dépendait donc pas linéairement de la distance. Dans une optique d'aménagement, les arbres plus gros que le pin blanc devraient être coupés, surtout les essences de type feuillu, si l'on veut augmenter la croissance radiale. Un dispositif expérimental mal adapté a apporté un biais dans le calcul des indices de compétition, ce qui a sans doute diminué la puissance des modèles. Un meilleur

dispositif utiliserait l'arbre comme unité d'échantillonnage et non une placette. À l'heure actuelle, les mesures sur placette permanente sont effectuées tous les 5 à 10 ans. Dans l'optique de représenter plus fidèlement l'effet de la compétition sur la croissance radiale dans des peuplements dynamiques, les mesures de compétition devraient être prises de façon plus fréquente en visant l'idéal de mesure chaque deux ans, comme les résultats du modèle de croissance radiale considérant des facteurs environnementaux le démontre.

Les modèles de croissance architecturale, surtout pour le nombre de ramifications, expliquaient peu la variation dans la croissance. Des coefficients plus élevés permettraient de mieux prédire la croissance architecturale. Ces modèles expliquent la part de variation due à la compétition et l'environnement sur la croissance des branches dominantes et vivantes jusqu'à l'apex. Ces branches subissent moins de compétition. Dans une étude future, il serait intéressant de choisir des branches représentatives de l'ensemble du houppier ou utiliser une variable réponse tenant compte de la qualité du houppier. Des exemples de variables réponses seraient le diamètre de la couronne, le pourcentage de la couronne par rapport à l'ensemble du tronc, un indice de l'état de santé des branches comme le pourcentage de branches vivantes par rapport aux branches présentant un avortement de l'apex, etc.

Le modèle de croissance radiale explique bien la variation due à la compétition et à l'environnement sur la largeur du cerne. Un coefficient de variation élevé permet de mieux prédire la croissance. Si l'on voulait améliorer la prédiction de la croissance avec un modèle plus complexe, une future analyse pourrait considérer d'autres variables comme l'âge des compétiteurs, leur espèce, leur strate, leur système racinaire ou des indices de compétition considérant des caractéristiques allométriques du houppier. Ces variables pourraient aussi être testées dans des modèles de croissance architecturale.

### *Climat*

Les modèles de croissance architecturale considérant le climat et le modèle dendroclimatique ont permis de connaître les facteurs climatiques mensuels susceptibles d'affecter la croissance du pin blanc. Cependant, les faibles coefficients totaux des modèles ne sauraient prédire la production forestière future en terme de volume de bois. Il serait toutefois intéressant de refaire la même étude, mais dans un gradient climatique plus important et en

incluant des zones situées aux limites de répartition de l'espèce. Cette étude se veut donc une première étape dans l'élaboration de modèles de croissance du pin blanc pour éventuellement pouvoir prédire la croissance du pin blanc dans un contexte de changements climatiques.

Les résultats présentés dans cette étude suggèrent que des modèles de la croissance architecturale du pin blanc considérant le climat (longueur de la pousse, nombre de ramifications) et des modèles dendroclimatiques du pin blanc devraient prendre en compte des variables climatiques mensuelles de précipitations et de températures de l'année précédant la croissance et de l'année de la croissance. Ces modèles devraient particulièrement tenir compte des précipitations qui se sont avérées plus importantes que la température sur la croissance du pin blanc, particulièrement les précipitations de mai (n-1), qui contribue de façon importante à la prédétermination des trois types de croissance.

Pour le modèle de la longueur de la pousse, les températures élevées de juin (n-1) étaient bénéfiques à l'élongation de la pousse de l'année suivante alors que les fortes précipitations d'avril (n), juin (n) et juillet (n) étaient défavorables.

Le nombre de ramifications était avantagé par de fortes précipitations en mars (n-2) et novembre (n-1) mais désavantagé par de fortes précipitations en janvier (n-1) et juillet (n-1). Les températures élevées en mai (n), juin (n) et septembre (n) causent des mortalités des rameaux alors que les fortes précipitations en mars et juin aident à diminuer la mortalité.

Les températures et précipitations (n-1) étaient bénéfiques à l'activité cambiale de l'année suivante. Plus particulièrement, les températures d'avril (n-1) et d'octobre (n-1), et les précipitations de mai d'avril (n-1), juillet d'avril (n-1), septembre d'avril (n-1), octobre d'avril (n-1), novembre d'avril (n-1) et décembre d'avril (n-1). Pour l'année de la croissance, les températures de septembre (n) étaient défavorables à la largeur de cerne.

Afin d'augmenter la variation climatique et ainsi pouvoir expliquer une plus grande part de la variation dans la croissance due aux données météorologiques, un plus grand nombre de sites dans un gradient de température et de précipitations plus important serait à envisager dans une étude future. De plus, tout comme pour les modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux, le choix de variables représentant l'ensemble du houppier apporterait une plus grande part d'explication aux modèles de croissance architecturale.

## Bibliographie

Abrams, M. D. (2001). *Eastern White Pine Versatility in the Presettlement Forest This eastern giant exhibited vast ecological breadth in the original forest but has been on the decline with subsequent land-use changes*. BioScience **51**(11): 967-979.

Abrams, M. D. et D. A. Orwig (1996). *A 300-year history of disturbance and canopy recruitment for co-occurring white pine and hemlock on the Allegheny Plateau, USA*. Journal of Ecology: 353-363.

Adams, H. D., M. Guardiola-Claramonte, G. A. Barron-Gafford, J. C. Villegas, D. D. Breshears, C. B. Zou, P. A. Troch et T. E. Huxman (2009). *Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought*. Proceedings of the national academy of sciences **106**(17): 7063-7066.

Ahlgren, C. E. (1957). *Phenological observations of nineteen native tree species in northeastern Minnesota*. Ecology **38**(4): 622-628.

Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. D. Breshears et E. T. Hogg (2010). *A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests*. Forest ecology and management **259**(4): 660-684.

Assmann, E. (1970). *Principles of forest yield study*, Pergamon Press,, Oxford.

Association forestière des Cantons de l'Est [AFCE]. (2008). *Les grands pins au Québec: un choix d'avenir* [en ligne] [www.afce.qc.ca/accueil](http://www.afce.qc.ca/accueil) consulté le 18 mars 2015

Augusto, L., J. Ranger, D. Binkley et A. Rothe (2002). *Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility*. Annals of Forest Science **59**(3): 233-253.

Barthelemy, D. et Y. Caraglio (2007). *Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny*. Annals of Botany **99**(3): 375-407.

Bella, I. (1971). *A new competition model for individual trees*. Forest science **17**(3): 364-372.

Bellard, C., C. Bertelsmeier, P. Leadley, W. Thuiller et F. Courchamp (2012). *Impacts of climate change on the future of biodiversity*. Ecology Letters **15**(4): 365-377.

Biging, G. S. et M. Dobbertin (1992). *A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees*. Forest Science **38**(3): 695-720.

Biging, G. S. et M. Dobbertin (1995). *Evaluation of competition indices in individual tree growth models*. Forest Science **41**(2): 360-377.



- Bird, C. J., L. C. Bliss, W. L. Strong, R. L. Taylor, D. Meidinger, R. T. Coupland, P. F. Maycock et P. J. Scott (2010). *Vegetation Regions*. The Canadian Encyclopedia. H. Canada. Toronto.
- Blouin, D., F. Guillemette, S. Côté et L. Guay (2007). *La restauration du pin blanc: une stratégie québécoise*. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. CERFO. Sainte-Foy.
- Boivin, F., A. Paquette, M. J. Papaik, N. Thiffault et C. Messier (2010). *Do position and species identity of neighbours matter in 8–15-year-old post harvest mesic stands in the boreal mixedwood?* Forest Ecology and Management **260**(7): 1124-1131.
- Bormann, F. (1965). *Changes in the growth pattern of white pine trees undergoing suppression*. Ecology **46**(3): 269-277.
- Boucher, J.-F., P. Y. Bernier, H. A. Margolis et A. D. Munson (2007). *Growth and physiological response of eastern white pine seedlings to partial cutting and site preparation*. Forest Ecology and Management **240**(1-3): 151-164.
- Boulet, B. et a. M. Huot (2013). *Le guide sylvicole du Québec. Tome 1 Les fondements biologiques de la sylviculture*. , Les publications du Québec, Le Ministère des Ressources Naturelles du Québec [MRN].
- Brouillet, L., F. Coursol, S.J. Meades, M. Favreau, M. Anions, P. Bélisle et P. Desmet. (2010). *VASCAN, la Base de données des plantes vasculaires du Canada*. [en ligne] <http://data.canadensys.net/vascan/> consulté le 3 mars 2015.
- Brown, W. et D. Lacate (1961). *Rooting habits of white and red pine*, Forest Research Branch: Note Technique Num. 108.
- Buissart, F., Y. Caraglio, P. Borianne, M. Guérault, J. Le Bec, F. Pailler, M. Vennetier, C. Zilliox et S.-A. Sabatier (2015). *Pith: a new criterion for monitoring the architecture in Mediterranean pines*. Trees **29**(6): 1827-1836.
- Burgess, D., C. Robinson et S. Wetzel (2005). *Eastern white pine response to release 30 years after partial harvesting in pine mixedwood forests*. Forest Ecology and Management **209**(1): 117-129.
- Burns, R. M. et B. H. Honkala (1990). *Silvics of North America: 1. Conifers; 2. Hardwoods*. . Agriculture Handbook 654. Washington, DC. , U.S. Department of Agriculture, Forest Service. **2**: 877 pages.
- Buse, L. J. (1992). *Critical silvics of white pine as related to vegetation management*, Northwestern Ontario Forest Technology Development Unit, Ontario Ministry of Natural Resources.

Camarero, J. J., J. M. Olano et A. Parras (2010). *Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates*. New Phytologist **185**(2): 471-480.

Canada, G. d. (2006). *Atlas de l'Amérique du Nord – Limites administratives*. [en ligne] [http://geogratis.gc.ca/download/frameworkdata/North\\_America\\_Atlas10M/boundaries/](http://geogratis.gc.ca/download/frameworkdata/North_America_Atlas10M/boundaries/) consulté le 16 décembre 2011.

Canham, C. D., P. T. LePage et K. D. Coates (2004). *A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding*. Canadian Journal of Forest Research **34**(4): 778-787.

Canham, C. D., M. J. Papaik, M. Uriarte, W. H. McWilliams, J. C. Jenkins et M. J. Twery (2006). *Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests*. Ecological Applications **16**(2): 540-554.

Caraglio, Y., F. Pimont et E. Rigolot (2007). *Pinus halepensis* Mill. architectural analysis for fuel modelling. MEDPINE **3**: 43-60.

Casper, B. B. et R. B. Jackson (1997). *Plant competition underground*. Annual Review of Ecology and Systematics: 545-570.

Chapin III, F. S. (1983). *Nitrogen and phosphorus nutrition and nutrient cycling by evergreen and deciduous understory shrubs in an Alaskan black spruce forest*. Canadian Journal of Forest Research **13**(5): 773-781.

Claveau, Y., C. Messier, P. G. Comeau et K. D. Coates (2002). *Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and height*. Canadian Journal of Forest Research **32**(3): 458-468.

Comité d'experts sur la prospection pédologique d'Agriculture Canada [C.E.P.P.E.A] (1987). *Le Système canadien de classification des sols*. Ottawa, Agriculture Canada. 170 pages.

Cottam, G. et J. T. Curtis (1956). *The use of distance measures in phytosociological sampling*. Ecology **37**(3): 451-460.

Curtis, R. O. (1967). *Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir*. Forest Science **13**(4): 365-375.

Delagrange, S., C. Messier, M. J. Lechowicz et P. Dizengremel (2004). *Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: importance of plant size and light availability*. Tree Physiology **24**(7): 775-784.

Doyon, F. et D. Bouillon (2003). *Stratégie d'aménagement, de restauration et de conservation du pin blanc et du pin rouge dans l'Outaouais*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Saint-André-Avellin, Québec, Canada.

Ducreux, G., H. Le Guyader et J.-C. Roland. *DÉVELOPPEMENT (biologie) - Le développement végétal* [en ligne] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/developpement-biologie-le-developpement-vegetal/> consulté le 18 avril 2018.

Electronik, C. (2007). *Coorecorder, Cdendro*. [en ligne] <http://www.cybis.se> consulté le 8 novembre 2015.

Erceg-Hurn, D. M. et V. M. Mirosevich (2008). *Modern robust statistical methods: an easy way to maximize the accuracy and power of your research*. *American Psychologist* **63**(7): 591.

Evert, F. (1968). *Form Height and Volume Per Square Foot of Basal Area*. *Journal of Forestry* **66**(4): 358-359.

Farjon, A. (2013). *Pinus strobus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. [en ligne] [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). consulté le 8 novembre 2015.

Filipescu, C. N. et P. G. Comeau (2007). *Competitive interactions between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods*. *Forest Ecology and Management* **247**(1): 175-184.

Fortin, M. (2005). *Étude rétrospective de l'accroissement en diamètre du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et de l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) en peuplements mixtes après une coupe à diamètre limite*. *The Forestry Chronicle* **81**(6): 791-800.

Fortin, M., S. Bédard et J. DeBlois (2009). *SaMARE: un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières de structure inéquienne du Québec méridional*. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Québec: 62 pages.

Fortin, M. et L. Langevin (2010). *Artemis 2009: un modèle de croissance basé sur une approche par tiges individuelles pour les forêts du Québec*. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Québec, Canada: 68 pages.

Frelich, L. E. (2002). *Forest dynamics and disturbance regimes: studies from temperate evergreen-deciduous forests*, Cambridge University Press.

Gamache, I. et S. Payette (2004). *Height growth response of tree line black spruce to recent climate warming across the forest-tundra of eastern Canada*. *Journal of Ecology* **92**(5): 835-845.

Gaudreau, J., L. Perez et P. Legendre. (2015, 11 mai 2015). *Identification des variables expliquant la distribution spatiale d'oiseaux de la forêt boréale et modélisation de tendances futures : une approche multivariée*. *Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, document 722, [en ligne] <http://cybergeo.revues.org/26969> consulté le 24 décembre 2015.

- Girard, F., M. Beaudet, D. Mailly et C. Messier (2014). *Integrating climatic response in competition dependent tree-level growth models for northern hardwoods*. Forest Ecology and Management **323**: 138-147.
- Girard, F., S. Payette et R. Gagnon (2011). *Dendroecological analysis of black spruce in lichen-spruce woodlands of the closed-crown forest zone in eastern Canada*. Ecoscience **18**(3): 279-294.
- Girard, F., M. Vennetier, F. Guibal, C. Corona, S. Ouarmim et A. Herrero (2012). *Pinus halepensis* Mill. crown development and fruiting declined with repeated drought in Mediterranean France. European Journal of Forest Research **131**(4): 919-931.
- Girard, F., M. Vennetier, S. Ouarmim et Y. Caraglio (2011). *Polycyclism, a fundamental tree growth process, decline with recent climate change: the example of Pinus halepensis* Mill. in Mediterranean France. Trees-Structure and Function **25**: 311-322.
- Hale, S. E., B. A. Gardiner, A. Wellpott, B. C. Nicoll et A. Achim (2012). *Wind loading of trees: influence of tree size and competition*. European Journal of Forest Research **131**(1): 203-217.
- Hartmann, H., M. Beaudet, M. J. Mazerolle et C. Messier (2009). *Sugar maple (Acer saccharum Marsh.) growth is influenced by close conspecifics and skid trail proximity following selection harvest*. Forest Ecology and Management **258**(5): 823-831.
- Henry, H. et L. Aarssen (1999). *The interpretation of stem diameter–height allometry in trees: biomechanical constraints, neighbour effects, or biased regressions?* Ecology Letters **2**(2): 89-97.
- Horton, K. et W. Brown (1960). *Ecology of white and red pine in the Great Lakes-St. Lawrence Forest Region*, Forest Research Division: Note Technique Num. 88.
- Huang, J.-G., Y. Bergeron, F. Berninger, L. Zhai, J. C. Tardif et B. Denneler (2013). *Impact of future climate on radial growth of four major boreal tree species in the eastern Canadian boreal forest*. PloS One **8**(2): e56758.
- Huang, J., J. C. Tardif, Y. Bergeron, B. Denneler, F. Berninger et M. P. Girardin (2010). *Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest*. Global Change Biology **16**(2): 711-731.
- International Soil Reference and Information Centre [ISRIC]. (2013, 2 Avril 2013). *SoilGrids: an automated system for global soil mapping*. [en ligne] <http://soilgrids1km.isric.org> consulté le 30 mars 2018.
- Klute, A. (1986). *Water retention: laboratory methods*. Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods(methodsofsoilan1): 635-662.

- Krueger, J. A., E. K. Zenner et K. J. Puettmann (2007). *Development of eastern white pine (Pinus strobus L.) regeneration under a reserve shelterwood after intermediate removals and windthrow*. Northern Journal of Applied Forestry **24**(2): 134-137.
- Laplante, R. (2012). *Jeanne Millet, L'architecture des arbres des régions tempérées. Son histoire, ses concepts, ses usages*. Les Éditions MultiMondes, Ed. Québec. **7**: 397 pages.
- Larocque, G. R. (2002). *Examining different concepts for the development of a distance-dependent competition model for red pine diameter growth using long-term stand data differing in initial stand density*. Forest Science **48**(1): 24-34.
- Laroque, C. P. et D. J. Smith (2003). *Radial-growth forecasts for five high-elevation conifer species on Vancouver Island, British Columbia*. Forest Ecology and Management **183**(1): 313-325.
- Legendre, P. et L. F. J. Legendre (2012). *Numerical ecology*, Elsevier. **24**: 1006 pages.
- Lessard, G., D. Blouin, E. Boulfroy, F. Grenon et M. Ruel (2010). *Le CERFO: un quart de siècle d'innovation*. The Forestry Chronicle **86**(3): 317-327.
- Lieffers, V. J., K. J. Stadt et Z. Feng (2007). *Free-to-grow regeneration standards are poorly linked to growth of spruce in boreal mixedwoods*. The Forestry Chronicle **volume 83**(6): pages 818-824.
- Lorimer, C. G. (1983). *Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands*. Forest Ecology and Management **6**(4): 343-360.
- Lupi, C. (2012). *Wood formation in black spruce: influence of growing season length, soil temperature and nitrogen*, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, Canada.
- Marchand, N. et L. Fillion (2011). *False rings in the white pine (Pinus strobus) of the Outaouais Hills, Québec (Canada), as indicators of water stress*. Canadian Journal of Forest Research **42**(1): 12-22.
- Marthews, T. R., Y. Malhi, C. A. Girardin, J. E. Silva Espejo, L. E. Aragão, D. B. Metcalfe, J. M. Rapp, L. M. Mercado, R. A. Fisher et D. R. Galbraith (2012). *Simulating forest productivity along a neotropical elevational transect: temperature variation and carbon use efficiency*. Global Change Biology **18**(9): 2882-2898.
- Mazerolle, M. J. (2006). *Improving data analysis in herpetology: using Akaike's Information Criterion (AIC) to assess the strength of biological hypotheses*. Amphib-Reptilia **27**(2): 169-180.
- McDonald, J. H. (2009). *Handbook of biological statistics*, Sparky House Publishing Baltimore, Maryland, USA. **2**: 313 pages.

Ministère des Ressources Naturelles du Québec [MRN] (1999). *Données géospatiales de Classification écologique du territoire québécois*. Direction des inventaires forestiers. Québec, Canada.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], (2015). *Données du Programme de surveillance du climat*. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Québec.

Nambiar, E. S. et R. Sands (1993). *Competition for water and nutrients in forests*. Canadian Journal of Forest Research **23**(10): 1955-1968.

Nolet, P., S. Delagrange, K. Bannon, C. Messier et D. Kneeshaw (2015). *Liming has a limited effect on sugar maple–American beech dynamics compared with beech sapling elimination and canopy opening*. Canadian Journal of Forest Research **45**(10): 1376-1386.

North American Forest Commission [NAFC], through the Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2011). *Forests of North America* [en ligne] <http://www.cec.org/naatlas/> consulté le 31 mars 2015.

Ols, C., A. Hofgaard, Y. Bergeron et I. Drobyshev (2016). *Previous growing season climate controls the occurrence of black spruce growth anomalies in boreal forests of Eastern Canada*. Canadian Journal of Forest Research **46**(5): 696-705.

Ortuno M. E., Doyon F. et D. Jean (2010). *Distribution historique du pin blanc et rouge en Outaouais - Phase 2 - Évaluation de la quantité exploitée dans les forêts publiques au 19e siècle*. Ripon, Québec., Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue: 67 pages.

Payette, S. et L. Filion (2010). *La dendroécologie: Principes, méthodes et applications*, Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.

Pichler, P. et W. Oberhuber (2007). *Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003*. Forest Ecology and Management **242**(2): 688-699.

Power, H. (2016). *Comparaison des biais et de la précision des estimations des modèles Artémis-2009 et Artémis-2014 pour la surface terrière totale des peuplements forestiers, avec et sans coupe partielle, sur une période de 40 ans*, Ministère des forêts, de la faune et des parcs, Direction de la recherche forestière, Canada.

Pregitzer, K. S. et B. V. Barnes (1984). *Classification and comparison of upland hardwood and conifer ecosystems of the Cyrus H. McCormick Experimental Forest, upper Michigan*. Canadian Journal of Forest Research **14**(3): 362-375.

Pretzsch, H. (1995). *Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs*. Allg. Forst Jagdztg **166**(9/10): 190-201.

- Raven, P. H., R. F. Evert et S. E. Eichhorn (2005). *Biology of plants*. 7e ed. , W.H. Freeman and Company, New York, USA.
- Razali, N. M. et Y. B. Wah (2011). *Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests*. Journal of Statistical Modeling and Analytics **2**(1): 21-33.
- Robusto, C. C. (1957). *The cosine-haversine formula*. The American Mathematical Monthly **64**(1): 38-40.
- Rossi, S., T. Anfodillo, K. Čufar, H. E. Cuny, A. Deslauriers, P. Fonti, D. Frank, J. Gričar, A. Gruber et G. M. King (2013). *A meta-analysis of cambium phenology and growth: linear and non-linear patterns in conifers of the northern hemisphere*. Annals of botany **112**(9): 1911-1920.
- Rouvinen, S. et T. Kuuluvainen (1997). *Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest*. Canadian Journal of Forest Research **27**(6): 890-902.
- Ruel, J.-C. (1992). *Impact de la compétition exercée par le framboisier (*Rubus idaeus* L.) et les feuillus de lumière sur la croissance du sapin (*Abies balsamea* (L.) Mill.) en régénération*. Canadian Journal of Forest Research **22**(9): 1408-1416.
- Santiago, L. S. (2003). *Leaf traits of canopy trees on a precipitation gradient in Panama: integrating plant physiological ecology and ecosystem science*. P.H.D, University of Florida, USA.
- Scherrer, B. (2007). *Biostatistiques*, Canada. **1**: 816 pages.
- Schweingruber, F. H. (1996). *Tree rings and environment: dendroecology*, Paul Haupt AG Bern, Switzerland. 609 pages.
- Schwinning, S. et J. Weiner (1998). *Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants*. Oecologia **113**(4): 447-455.
- Sheldrick, B. (1984). *Analytical methods manual 1984*, Research Branch, Canada: Agriculture Canada, Ottawa.
- Shmulsky, R. et P. D. Jones (2011). *Forest products and wood science*, John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Sprent, P. (1992). *Pratique des statistiques nonparamétriques*, Editions Quae, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France. 294 pages.
- Stadt, K. J., C. Huston, K. D. Coates, Z. Feng, M. R. Dale et V. J. Lieffers (2007). *Evaluation of competition and light estimation indices for predicting diameter growth in mature boreal mixed forests*. Annals of Forest Science **64**(5): 477-490.

- Swetnam, T. W. et A. M. Lynch (1989). *A tree-ring reconstruction of western spruce budworm history in the southern Rocky Mountains*. Forest Science **35**(4): 962-986.
- Tarbox, E. et P. Reed (1924). *Quality and growth of white pine as influenced by density, site, and associated species*, Harvard Forest, USA.
- Thabeet, A., M. Vennetier, C. Gadbin-Henry, N. Denelle, M. Roux, Y. Caraglio et B. Vila (2009). *Response of Pinus sylvestris L. to recent climatic events in the French Mediterranean region*. Trees - Structure and Function **23**(4): 843-853.
- USGS. (1999). *Digital Representations of Tree Species Range Maps from "Atlas of United States Trees" by Elbert L. Little, Jr. (and other publications)*. [en ligne] <http://esp.cr.usgs.gov/data/little/> consulté le 4 mai 2015.
- Valladares, F. et Ü. Niinemets (2008). *Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences*. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics **39**.
- Vallee, S. et S. Payette (2004). *Contrasted Growth of Black Spruce (Picea mariana) Forest Trees at Treeline Associated with Climate Change over the Last 400 Years*. Arctic, Antarctic, and Alpine Research **36**(4): 400-406.
- Vennetier, M., F. Girard, C. Didier, S. Ouamim, C. Ripert, L. Misson, R. Estève, W. Martin et A. Ndiaye-Boubacar (2011). *Adaptation phénologique du pin d'Alep au changement climatique*. Forêt Méditerranéenne **32**(2).
- Vennetier, M., F. Girard, O. Taugourdeau, M. Cailleret, Y. Caraglio, S.-A. Sabatier, S. Ouarmim, C. Didier et A. Thabeet (2013). *Climate Change Impact on Tree Architectural Development and Leaf Area*. Climate Change Realities, impacts over ice cap, sea level and risks. InTech, 103 pages.
- Ventura-Giroux, C. (2012). *Le potentiel de croissance du pin blanc (Pinus strobus L.) à la limite nordique de son aire de distribution*. Maîtrise, Université Laval, Québec, Canada.
- Wagner, R. G. et S. R. Radosevich (1998). *Neighborhood approach for quantifying interspecific competition in coastal Oregon forests*. Ecological Applications **8**(3): 779-794.
- Walther, B. A. et J. L. Moore (2005). *The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance*. Ecography **28**(6): 815-829.
- Wilson, L. F. et D. C. Schmiede (1965). *Pine root collar weevil*, Forest Service, US Department of Agriculture. **39 rev.**: 7 pages.
- Wipf, S., V. Stoeckli et P. Bebi (2009). *Winter climate change in alpine tundra: plant responses to changes in snow depth and snowmelt timing*. Climatic Change **94**(1-2): 105-121.



Yang, K. et G. Hazenberg (1991). *Sapwood and heartwood width relationship to tree age in Pinus banksiana*. Canadian Journal of Forest Research **21**(4): 521-525.

Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*, Pearson Education, India.

## ANNEXE A: Paramètres des modèles de croissance considérant des facteurs environnementaux

Modèles de croissance du pin blanc considérant des facteurs environnementaux. Log10shoot: Logarithme en base 10 de la longueur de la pousse annuelle; Log10ramif : Logarithme en base 10 du nombre de ramifications; Log2Growth : Logarithme en base 2 de la croissance radiale annuelle.

Variable	Modèle
Log10shoot	$\sim -0.28202 * -0.46735 \text{DHPi\_m} + 0.25823 \text{RFV} - 0.28395 \text{CBAL8.T} * -0.53849 \text{RI} * -0.88388 \text{Altitude} * + 0.15773 \text{SCG} + 0.06066 \text{Limon} + 0.03760 \text{Sable} - 0.13245 \text{SFG} * -0.72368 \text{BL} *$
Log10ramif	$\sim -0.18281 * -0.71512 \text{RFV} * -0.24103 \text{DHPi\_m} * -0.13649 \text{CBAL8.T} * -0.10569 \text{RI} * + 0.02585 \text{Sable}.$
Log2Growth	$\sim -5.68752 * + 0.42184 \text{DHPi\_m} * -0.27187 \text{CBAL8.F} * -0.29344 \text{STG} * + 0.43002 \text{RFV} * -0.12263 \text{SIG} *$

## ANNEXE B: Paramètres des modèles de croissance considérant le climat

Modèles de la croissance du pin blanc considérant le climat. Log10shoot: Logarithme en base 10 de la longueur de la pousse annuelle; Log10ramif: Logarithme en base 10 du nombre de ramifications; Log2Growth: Logarithme en base 2 de la croissance radiale annuelle.

Variable	Paramètres
Log10shoot	$\sim -3.363e-17 + 2.027e-01 P_{tot\_11\_AV} + 1.689e-01 P_{tot\_11} + 1.407e-01 T_{minmin\_AV} - 1.224e-01 P_{tot\_01\_AV} +$ $1.229e-01 P_{tot\_02\_AV} - 7.424e-02 T_{mean\_05} - 1.247e-01 P_{tot\_12} - 6.138e-02 P_{tot\_04} +$ $7.608e-02 P_{tot\_05\_AV} - 3.457e-02 P_{tot\_06} + 4.828e-02 T_{max\_06\_AV} - 3.041e-02 P_{tot\_07}$
Log10ramif	$\sim -3.935e-17 + 1.738e-01 T_{mean\_11} + 1.535e-01 P_{tot\_11} + 1.464e-01 P_{tot\_02\_AV} - 7.406e-02 P_{tot\_01\_AV} - 1.762e-01 T_{mean\_05} + 1.044e-01 T_{max\_11\_AV} -$ $9.190e-02 P_{tot\_07\_AV} + 9.324e-02 P_{tot\_05\_AV} - 8.068e-02 T_{mean\_06} +$ $6.162e-02 P_{tot\_06} - 1.020e-01 P_{tot\_07} + 1.122e-01 P_{tot\_02} - 9.048e-02 P_{tot\_03} + 6.755e-02 P_{tot\_11\_AV}$
Log2Growth	$\sim -0.05421 + 0.29760 T_{max\_04\_AV} + 0.12015 P_{tot\_10\_AV} + 0.26786 T_{max\_10\_AV} - 0.10057 P_{tot\_01\_AV} +$ $0.24403 P_{tot\_07\_AV} + 0.14362 P_{tot\_09\_AV} - 0.18082 T_{mean\_09} + 0.13657 P_{tot\_05\_AV} + 0.13791 P_{tot\_11\_AV} +$ $0.08443 T_{mean\_01} + 0.14637 P_{tot\_12\_AV} + 0.10112 P_{tot\_04\_AV} + 0.06196 T_{min\_12\_AV} - 0.04846 P_{tot\_02\_AV}$

## ANNEXE C: Caractéristiques des arbres compétiteurs et leur distance des arbres cibles.

Le tableau suivant présente les arbres compétiteurs aux arbres cibles et quelques caractéristiques. Cible : Identificateur unique de l'arbre cible (B : Blainville, R :Ripon, P : Notre-Dame-de-Pontmain, L :Réserve faunique de La Vérendrye), Comp : Identificateur unique de l'arbre compétiteur, Sp : Sigle de l'espèce (Voir la liste des sigles), DHP : Diamètre en m à 1,30m, H : Hauteur en m, Type : Le compétiteur est du type conifère (C) ou feuillu (F), Tol : Le compétiteur est tolérant à l'ombre (T) ou intolérant à l'ombre (I), Dist : Distance entre le compétiteur et l'arbre cible.

Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
B1A1	B120.116.8ACRU	ACRU	0.201	16.8	F	T	8.31
B1A1	B110.920.6ACRU	ACRU	0.109	20.6	F	T	6.67
B1A1	B113.617.1ACRU	ACRU	0.136	17.1	F	T	6.85
B1A1	B114.412.3ACRU	ACRU	0.144	12.3	F	T	8.18
B1A1	B117.618.6ACRU	ACRU	0.176	18.6	F	T	7.14
B1A1	B157.828.8PIST	PIST	0.578	28.8	C	T	5.17
B1A1	B150.924.6PIRU	PIRU	0.509	24.6	C	T	6.13
B1A1	B114.88.4ACRU	ACRU	0.148	8.4	F	T	8.76
B1A1	B110.615.4ACRU	ACRU	0.106	15.4	F	T	9.75
B1A1	B119.519ACRU	ACRU	0.195	19	F	T	7.04
B1A1	B113.916ACSA	ACSA	0.139	16	F	T	9.62
B1A1	B112.212.4ACRU	ACRU	0.122	12.4	F	T	7.94
B1A1	B146.431.5ACRU	ACRU	0.464	31.5	F	T	6.31
B1A1	B15024PIST	PIST	0.5	24	C	T	3.44
B1A1	B118.49.9ACRU	ACRU	0.184	9.9	F	T	7.00
B1A1	B117.412.9ACRU	ACRU	0.174	12.9	F	T	6.00
B1A1	B112.910ACRU	ACRU	0.129	10	F	T	9.33
B1A1	B117.313.4ACRU	ACRU	0.173	13.4	F	T	8.87
B1A1	B125.415.8ACRU	ACRU	0.254	15.8	F	T	8.73
B1A1	B1A4	PIST	0.369	24.6	C	T	7.09
B1A1	B1A3	PIST	0.534	26.5	C	T	8.25
B1A1	B1A2	PIST	0.379	25.6	C	T	3.58
B1A1	B1A1	PIST	0.472	26.5	C	T	0.00
B1A2	B157.828.8PIST	PIST	0.578	28.8	C	T	8.12
B1A2	B150.924.6PIRU	PIRU	0.509	24.6	C	T	8.13

Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
B1A2	B119.519ACRU	ACRU	0.195	19	F	T	5.12
B1A2	B114.216.8ACRU	ACRU	0.142	16.8	F	T	7.61
B1A2	B113.916ACSA	ACSA	0.139	16	F	T	6.05
B1A2	B112.714.9ACRU	ACRU	0.127	14.9	F	T	8.44
B1A2	B135.920.1ACRU	ACRU	0.359	20.1	F	T	8.07
B1A2	B112.212.4ACRU	ACRU	0.122	12.4	F	T	4.59
B1A2	B146.431.5ACRU	ACRU	0.464	31.5	F	T	2.80
B1A2	B15024PIST	PIST	0.5	24	C	T	1.79
B1A2	B118.49.9ACRU	ACRU	0.184	9.9	F	T	5.55
B1A2	B117.412.9ACRU	ACRU	0.174	12.9	F	T	5.05
B1A2	B112.910ACRU	ACRU	0.129	10	F	T	9.01
B1A2	B117.313.4ACRU	ACRU	0.173	13.4	F	T	9.92
B1A2	B125.415.8ACRU	ACRU	0.254	15.8	F	T	9.21
B1A2	B1A4	PIST	0.369	24.6	C	T	7.86
B1A2	B1A3	PIST	0.534	26.5	C	T	7.73
B1A2	B1A2	PIST	0.379	25.6	C	T	0.00
B1A2	B1A1	PIST	0.472	26.5	C	T	3.58
B1A3	B157.828.8PIST	PIST	0.578	28.8	C	T	7.80
B1A3	B150.924.6PIRU	PIRU	0.509	24.6	C	T	5.49
B1A3	B110.814.4ACRU	ACRU	0.108	14.4	F	T	9.14
B1A3	B123.117.8ACRU	ACRU	0.231	17.8	F	T	9.96
B1A3	B114.88.4ACRU	ACRU	0.148	8.4	F	T	4.79
B1A3	B110.615.4ACRU	ACRU	0.106	15.4	F	T	5.45
B1A3	B116.919.6ACRU	ACRU	0.169	19.6	F	T	6.54
B1A3	B119.716.3ACRU	ACRU	0.197	16.3	F	T	9.61
B1A3	B111.315.6ACRU	ACRU	0.113	15.6	F	T	8.81
B1A3	B133.916.6ACRU	ACRU	0.339	16.6	F	T	7.18
B1A3	B112.815.5ACRU	ACRU	0.128	15.5	F	T	5.25
B1A3	B114.313.7ACRU	ACRU	0.143	13.7	F	T	3.10
B1A3	B116.914.5ACRU	ACRU	0.169	14.5	F	T	6.36
B1A3	B119.519ACRU	ACRU	0.195	19	F	T	3.51
B1A3	B114.216.8ACRU	ACRU	0.142	16.8	F	T	5.92
B1A3	B167.829PIST	PIST	0.678	29	C	T	9.22
B1A3	B113.916ACSA	ACSA	0.139	16	F	T	9.86
B1A3	B146.431.5ACRU	ACRU	0.464	31.5	F	T	9.15
B1A3	B15024PIST	PIST	0.5	24	C	T	9.40
B1A3	B1A3	PIST	0.534	26.5	C	T	0.00
B1A3	B1A2	PIST	0.379	25.6	C	T	7.73
B1A3	B1A1	PIST	0.472	26.5	C	T	8.25

Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
B1A4	B120.629.2ACRU	ACRU	0.206	29.2	F	T	8.81
B1A4	B110.920.6ACRU	ACRU	0.109	20.6	F	T	7.64
B1A4	B112.212.4ACRU	ACRU	0.122	12.4	F	T	8.94
B1A4	B146.431.5ACRU	ACRU	0.464	31.5	F	T	8.74
B1A4	B15024PIST	PIST	0.5	24	C	T	6.08
B1A4	B118.49.9ACRU	ACRU	0.184	9.9	F	T	4.45
B1A4	B117.412.9ACRU	ACRU	0.174	12.9	F	T	3.70
B1A4	B114.710.9ACRU	ACRU	0.147	10.9	F	T	5.92
B1A4	B130.217.7ACRU	ACRU	0.302	17.7	F	T	5.08
B1A4	B112.910ACRU	ACRU	0.129	10	F	T	3.06
B1A4	B110.111.4ACRU	ACRU	0.101	11.4	F	T	3.66
B1A4	B117.313.4ACRU	ACRU	0.173	13.4	F	T	2.08
B1A4	B125.415.8ACRU	ACRU	0.254	15.8	F	T	1.68
B1A4	B1A4	PIST	0.369	24.6	C	T	0.00
B1A4	B1A2	PIST	0.379	25.6	C	T	7.86
B1A4	B1A1	PIST	0.472	26.5	C	T	7.09
B2A1	B21220ACRU	ACRU	0.12	20	F	T	5.30
B2A1	B21620ACRU	ACRU	0.16	20	F	T	5.30
B2A1	B21820ACRU	ACRU	0.18	20	F	T	5.30
B2A1	B21521.1ACRU	ACRU	0.15	21.1	F	T	2.31
B2A1	B221.518.5ACRU	ACRU	0.215	18.5	F	T	2.32
B2A1	B212.711.7ACRU	ACRU	0.127	11.7	F	T	8.37
B2A1	B25326.2PIST	PIST	0.53	26.2	C	T	9.51
B2A1	B229.518.3ACRU	ACRU	0.295	18.3	F	T	8.56
B2A1	B22728.5PIST	PIST	0.27	28.5	C	T	6.33
B2A1	B215.514.2ACRU	ACRU	0.155	14.2	F	T	3.12
B2A1	B223.520.1PIST	PIST	0.235	20.1	C	T	5.56
B2A1	B2A1	PIST	0.338	23.1	C	T	0.00
B2A2	B27230.3PIST	PIST	0.72	30.3	C	T	6.82
B2A2	B22521.5PIST	PIST	0.25	21.5	C	T	0.94
B2A2	B23825.5PIST	PIST	0.38	25.5	C	T	8.13
B2A2	B257.529.3PIST	PIST	0.575	29.3	C	T	8.43
B2A2	B26430PIST	PIST	0.64	30	C	T	9.41
B2A2	B2A4	PIST	0.365	25	C	T	2.68
B2A2	B2A3	PIST	0.565	26.4	C	T	6.00
B2A2	B2A2	PIST	0.47	27.5	C	T	0.00
B2A3	B212.517.3ACRU	ACRU	0.125	17.3	F	T	7.68

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
B2A3	B223.519.9ACRU	ACRU	0.235	19.9	F	T	7.15
B2A3	B27230.3PIST	PIST	0.72	30.3	C	T	8.01
B2A3	B22521.5PIST	PIST	0.25	21.5	C	T	7.23
B2A3	B2A4	PIST	0.365	25	C	T	7.82
B2A3	B2A3	PIST	0.565	26.4	C	T	0.57
B2A3	B2A2	PIST	0.47	27.5	C	T	6.29
B2A4	B27230.3PIST	PIST	0.72	30.3	C	T	9.66
B2A4	B22521.5PIST	PIST	0.25	21.5	C	T	2.53
B2A4	B23825.5PIST	PIST	0.38	25.5	C	T	7.32
B2A4	B257.529.3PIST	PIST	0.575	29.3	C	T	8.37
B2A4	B26430PIST	PIST	0.64	30	C	T	9.19
B2A4	B2A4	PIST	0.365	25	C	T	0.19
B2A4	B2A3	PIST	0.565	26.4	C	T	7.85
B2A4	B2A2	PIST	0.47	27.5	C	T	2.87
B3A1	B322.218.5ACRU	ACRU	0.222	18.5	F	T	8.29
B3A1	B314.519.6ACRU	ACRU	0.145	19.6	F	T	7.65
B3A1	B310.617.7ACRU	ACRU	0.106	17.7	F	T	1.68
B3A1	B310.717ACRU	ACRU	0.107	17	F	T	7.01
B3A1	B311.118.8ACRU	ACRU	0.111	18.8	F	T	7.01
B3A1	B317.218.3ACRU	ACRU	0.172	18.3	F	T	7.01
B3A1	B310.215.7ACRU	ACRU	0.102	15.7	F	T	5.55
B3A1	B313.418.8ACRU	ACRU	0.134	18.8	F	T	5.64
B3A1	B317.821ACRU	ACRU	0.178	21	F	T	6.48
B3A1	B320.316.2ACRU	ACRU	0.203	16.2	F	T	9.39
B3A1	B31214ACRU	ACRU	0.12	14	F	T	9.95
B3A1	B31718.5ACRU	ACRU	0.17	18.5	F	T	5.23
B3A1	B311.515.7ACRU	ACRU	0.115	15.7	F	T	7.61
B3A1	B312.417.7ACRU	ACRU	0.124	17.7	F	T	4.53
B3A1	B310.415ACRU	ACRU	0.104	15	F	T	3.93
B3A1	B311.512.9ACRU	ACRU	0.115	12.9	F	T	2.83
B3A1	B3A1	PIST	0.451	22.4	C	T	0.00
B3A2	B320.316.2ACRU	ACRU	0.203	16.2	F	T	8.45
B3A2	B312.611.1PIST	PIST	0.126	11.1	C	T	8.56
B3A2	B311.713.6ACRU	ACRU	0.117	13.6	F	T	4.52
B3A2	B317.219ACRU	ACRU	0.172	19	F	T	7.93
B3A2	B354.927.4PIST	PIST	0.549	27.4	C	T	7.98
B3A2	B331.423.7PIRE	PIRE	0.314	23.7	C	I	8.25

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
B3A2	B3A3	PIST	0.445	26	C	T	8.36
B3A2	B3A2	PIST	0.439	23.2	C	T	0.00
B3A3	B310.717ACRU	ACRU	0.107	17	F	T	8.33
B3A3	B311.118.8ACRU	ACRU	0.111	18.8	F	T	8.33
B3A3	B317.218.3ACRU	ACRU	0.172	18.3	F	T	8.33
B3A3	B320.316.2ACRU	ACRU	0.203	16.2	F	T	8.91
B3A3	B354.927.4PIST	PIST	0.549	27.4	C	T	5.23
B3A3	B331.423.7PIRE	PIRE	0.314	23.7	C	I	0.82
B3A3	B311.515.7ACRU	ACRU	0.115	15.7	F	T	8.91
B3A3	B312.117.6ACRU	ACRU	0.121	17.6	F	T	9.50
B3A3	B314.813.1ACRU	ACRU	0.148	13.1	F	T	8.92
B3A3	B330.916PIST	PIST	0.309	16	C	T	7.70
B3A3	B365.723.8PIST	PIST	0.657	23.8	C	T	5.29
B3A3	B31717PIST	PIST	0.17	17	C	T	6.23
B3A3	B313.614ACRU	ACRU	0.136	14	F	T	4.24
B3A3	B3A3	PIST	0.445	26	C	T	0.00
B3A3	B3A2	PIST	0.439	23.2	C	T	8.36
B3A4	B33124.4PIST	PIST	0.31	24.4	C	T	8.37
B3A4	B312.117.6ACRU	ACRU	0.121	17.6	F	T	9.61
B3A4	B314.813.1ACRU	ACRU	0.148	13.1	F	T	3.59
B3A4	B314.618.7ACRU	ACRU	0.146	18.7	F	T	9.50
B3A4	B318.420.4ACRU	ACRU	0.184	20.4	F	T	9.31
B3A4	B313.119.8ACRU	ACRU	0.131	19.8	F	T	9.21
B3A4	B31819.5ACRU	ACRU	0.18	19.5	F	T	9.16
B3A4	B321.520PIST	PIST	0.215	20	C	T	6.60
B3A4	B316.914.4PIST	PIST	0.169	14.4	C	T	6.72
B3A4	B321.219.8PIST	PIST	0.212	19.8	C	T	9.33
B3A4	B3A4	PIST	0.561	25.6	C	T	0.00
B3A4	B330.916PIST	PIST	0.309	16	C	T	2.82
B3A4	B365.723.8PIST	PIST	0.657	23.8	C	T	5.23
B3A4	B31717PIST	PIST	0.17	17	C	T	7.06
B3A4	B313.614ACRU	ACRU	0.136	14	F	T	6.33
R1A1	F1A2	PIST	0.295	13.1	C	T	7.98
R1A1	F1A1	PIST	0.23	12.4	C	T	0.00
R1A1	F114.59.2PIST	PIST	0.145	9.2	C	T	7.04
R1A1	F110.511ACRU	ACRU	0.105	11	F	T	1.95
R1A1	F1108.6ABBA	ABBA	0.1	8.6	C	T	3.61



<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
R1A1	F11810.3QURU	QURU	0.18	10.3	F	T	4.80
R1A1	F1109.4QURU	QURU	0.1	9.4	F	T	6.20
R1A1	F1107.8ACRU	ACRU	0.1	7.8	F	T	3.38
R1A1	F137.517PIST	PIST	0.375	17	C	T	6.35
R1A1	F110.513.1QURU	QURU	0.105	13.1	F	T	6.63
R1A1	F116.517QURU	QURU	0.165	17	F	T	6.63
R1A1	F19.17.9QURU	QURU	0.091	7.9	F	T	6.15
R1A1	F11713.1QURU	QURU	0.17	13.1	F	T	8.20
R1A2	F1A2	PIST	0.295	13.1	C	T	0.00
R1A2	F1A1	PIST	0.23	12.4	C	T	7.98
R1A2	F1299.6TSCA	TSCA	0.29	9.6	C	T	8.35
R1A2	F114.59.2PIST	PIST	0.145	9.2	C	T	8.18
R1A2	F110.511ACRU	ACRU	0.105	11	F	T	8.93
R1A2	F1108.6ABBA	ABBA	0.1	8.6	C	T	9.58
R1A2	F1109.4QURU	QURU	0.1	9.4	F	T	4.26
R1A2	F116.510.9ABBA	ABBA	0.165	10.9	C	T	8.67
R1A2	F11714QURU	QURU	0.17	14	F	T	8.58
R1A2	F111.511.2ABBA	ABBA	0.115	11.2	C	T	9.19
R1A2	F1129.5ABBA	ABBA	0.12	9.5	C	T	9.51
R1A2	F11411ACRU	ACRU	0.14	11	F	T	9.02
R1A2	F12316.3ACRU	ACRU	0.23	16.3	F	T	8.40
R1A2	F142.515.4PIST	PIST	0.425	15.4	C	T	4.41
R1A2	F110.511.1QURU	QURU	0.105	11.1	F	T	9.10
R1A3	F1A4	PIST	0.455	17	C	T	8.65
R1A3	F1A3	PIST	0.27	12.7	C	T	0.00
R1A3	F1109.4QURU	QURU	0.1	9.4	F	T	7.40
R1A3	F137.517PIST	PIST	0.375	17	C	T	8.82
R1A3	F110.513.1QURU	QURU	0.105	13.1	F	T	8.61
R1A3	F116.517QURU	QURU	0.165	17	F	T	8.61
R1A3	F19.17.9QURU	QURU	0.091	7.9	F	T	7.79
R1A3	F11713.1QURU	QURU	0.17	13.1	F	T	9.53
R1A3	F1178.1ACRU	ACRU	0.17	8.1	F	T	9.93
R1A3	F1209.3ACRU	ACRU	0.2	9.3	F	T	9.48
R1A3	F1208.4PIST	PIST	0.2	8.4	C	T	6.64
R1A3	F116.511ACRU	ACRU	0.165	11	F	T	5.73
R1A3	F11413.4ACRU	ACRU	0.14	13.4	F	T	5.78
R1A3	F111.511.9ACRU	ACRU	0.115	11.9	F	T	5.93
R1A3	F11011.9ACRU	ACRU	0.1	11.9	F	T	6.09
R1A3	F1127.3ACRU	ACRU	0.12	7.3	F	T	5.82

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
R1A3	F19.510QURU	QURU	0.095	10	F	T	7.74
R1A3	F11111.1QURU	QURU	0.11	11.1	F	T	5.35
R1A3	F1117.8ABBA	ABBA	0.11	7.8	C	T	5.55
R1A3	F13215.9PIST	PIST	0.32	15.9	C	T	3.36
R1A3	F111.512.8QURU	QURU	0.115	12.8	F	T	2.67
R1A3	F110.511.9QURU	QURU	0.105	11.9	F	T	6.43
R1A3	F116.510.9ABBA	ABBA	0.165	10.9	C	T	5.00
R1A3	F11714QURU	QURU	0.17	14	F	T	8.74
R1A4	F1A4	PIST	0.455	17	C	T	0.00
R1A4	F1A3	PIST	0.27	12.7	C	T	8.65
R1A4	F111.512.8QURU	QURU	0.115	12.8	F	T	9.20
R1A4	F110.511.9QURU	QURU	0.105	11.9	F	T	2.34
R1A4	F116.510.9ABBA	ABBA	0.165	10.9	C	T	5.86
R1A4	F1124.7TSCA	TSCA	0.12	4.7	C	T	4.64
R1A4	F127.510.2TSCA	TSCA	0.275	10.2	C	T	5.04
R1A4	F12310.2TSCA	TSCA	0.23	10.2	C	T	5.17
R1A4	F11714QURU	QURU	0.17	14	F	T	5.93
R1A4	F111.511.2ABBA	ABBA	0.115	11.2	C	T	9.07
R1A4	F127.511.6ACRU	ACRU	0.275	11.6	F	T	7.03
R1A4	F1129.5ABBA	ABBA	0.12	9.5	C	T	8.12
R2A1	F2A4	PIST	0.253	14.7	C	T	4.99
R2A1	F2A1	PIST	0.32	18.1	C	T	0.00
R2A1	F213.511.7QURU	QURU	0.135	11.7	F	T	4.23
R2A1	F216.516.3QURU	QURU	0.165	16.3	F	T	4.58
R2A1	F218.516.4QURU	QURU	0.185	16.4	F	T	3.41
R2A1	F213.315.8QURU	QURU	0.133	15.8	F	T	6.60
R2A1	F29.57.8ACRU	ACRU	0.095	7.8	F	T	1.14
R2A1	F211.313.8PIST	PIST	0.113	13.8	C	T	4.83
R2A1	F21211.5QURU	QURU	0.12	11.5	F	T	8.49
R2A1	F21211.6ABBA	ABBA	0.12	11.6	C	T	6.21
R2A1	F22016.6PIST	PIST	0.2	16.6	C	T	8.77
R2A1	F29.116.7PIST	PIST	0.091	16.7	C	T	9.57
R2A1	F224.317.2PIST	PIST	0.243	17.2	C	T	8.77
R2A1	F217.512.9PIST	PIST	0.175	12.9	C	T	9.88
R2A1	F29.511.7QURU	QURU	0.095	11.7	F	T	9.92
R2A1	F216.512.6PIST	PIST	0.165	12.6	C	T	9.97
R2A1	F218.511.8PIST	PIST	0.185	11.8	C	T	6.87
R2A1	F29.512.4QURU	QURU	0.095	12.4	F	T	6.34
R2A2	F3A2	PIST	NA	NA	C	T	5.18

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
R2A2	F2A2	PIST	0.285	13.1	C	T	0.00
R2A2	F21211.5QURU	QURU	0.12	11.5	F	T	8.14
R2A2	F21011.7ACRU	ACRU	0.1	11.7	F	T	5.43
R2A2	F22012.9PIST	PIST	0.2	12.9	C	T	9.01
R2A2	F224.513.5PIST	PIST	0.245	13.5	C	T	3.38
R2A2	F213.512.3QURU	QURU	0.135	12.3	F	T	3.65
R2A2	F21811.9PIST	PIST	0.18	11.9	C	T	3.32
R2A2	F222.513.2ABBA	ABBA	0.225	13.2	C	T	5.01
R2A2	F212.57.1ACRU	ACRU	0.125	7.1	F	T	6.81
R2A2	F21210.8ACRU	ACRU	0.12	10.8	F	T	6.23
R2A2	F22112.4ACRU	ACRU	0.21	12.4	F	T	6.25
R2A2	F212.511.3ACRU	ACRU	0.125	11.3	F	T	9.61
R2A2	F21013.4QURU	QURU	0.1	13.4	F	T	8.28
R2A4	F2A4	PIST	0.253	14.7	C	T	0.00
R2A4	F2A1	PIST	0.32	18.1	C	T	4.99
R2A4	F213.511.7QURU	QURU	0.135	11.7	F	T	8.56
R2A4	F216.516.3QURU	QURU	0.165	16.3	F	T	8.49
R2A4	F218.516.4QURU	QURU	0.185	16.4	F	T	5.49
R2A4	F213.315.8QURU	QURU	0.133	15.8	F	T	7.24
R2A4	F214.516.3QURU	QURU	0.145	16.3	F	T	9.37
R2A4	F29.57.8ACRU	ACRU	0.095	7.8	F	T	4.42
R2A4	F211.313.8PIST	PIST	0.113	13.8	C	T	0.28
R2A4	F21211.5QURU	QURU	0.12	11.5	F	T	3.51
R2A4	F21211.6ABBA	ABBA	0.12	11.6	C	T	3.30
R2A4	F22016.6PIST	PIST	0.2	16.6	C	T	6.53
R2A4	F29.116.7PIST	PIST	0.091	16.7	C	T	7.32
R2A4	F224.317.2PIST	PIST	0.243	17.2	C	T	7.20
R2A4	F21011.7ACRU	ACRU	0.1	11.7	F	T	9.30
R2A4	F213.512.3QURU	QURU	0.135	12.3	F	T	9.10
R2A4	F21013.4QURU	QURU	0.1	13.4	F	T	7.77
R2A4	F260.519.9PIST	PIST	0.605	19.9	C	T	7.82
R2A4	F217.512.9PIST	PIST	0.175	12.9	C	T	7.33
R2A4	F21815PIST	PIST	0.18	15	C	T	8.20
R2A4	F29.39PIST	PIST	0.093	9	C	T	9.00
R2A4	F216.512.6PIST	PIST	0.165	12.6	C	T	9.80
R2A4	F218.511.8PIST	PIST	0.185	11.8	C	T	5.97
R2A4	F29.512.4QURU	QURU	0.095	12.4	F	T	4.76
R3A1	F3A2	PIST	0.325	0	C	T	0.40
R3A1	F3A1	PIST	0.36	17	C	T	0.00

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
R3A1	F313.511.7QURU	QURU	0.135	11.7	F	T	9.46
R3A1	F318.511.8PIST	PIST	0.185	11.8	C	T	6.50
R3A1	F33015.3PIST	PIST	0.3	15.3	C	T	8.54
R3A1	F312.511.7ABBA	ABBA	0.125	11.7	C	T	6.61
R3A1	F323.515.5PIST	PIST	0.235	15.5	C	T	9.43
R3A1	F39.510.1PIST	PIST	0.095	10.1	C	T	6.31
R3A1	F31513.1QURU	QURU	0.15	13.1	F	T	1.45
R3A1	F39.29.7QURU	QURU	0.092	9.7	F	T	1.98
R3A1	F334.518PIST	PIST	0.345	18	C	T	7.30
R3A1	F310.59.6QURU	QURU	0.105	9.6	F	T	7.38
R3A1	F311.510.2QURU	QURU	0.115	10.2	F	T	4.78
R3A1	F334.515.4PIST	PIST	0.345	15.4	C	T	7.50
R3A1	F3188.6ACRU	ACRU	0.18	8.6	F	T	4.52
R3A3	F3A3	PIST	0.31	16.9	C	T	0.00
R3A3	F313.512.1QURU	QURU	0.135	12.1	F	T	6.82
R3A3	F317.312.7QURU	QURU	0.173	12.7	F	T	6.81
R3A3	F322.512.4PIST	PIST	0.225	12.4	C	T	1.54
R3A3	F39.512.3QURU	QURU	0.095	12.3	F	T	3.29
R3A3	F315.512.8QURU	QURU	0.155	12.8	F	T	3.31
R3A3	F314.513.2QURU	QURU	0.145	13.2	F	T	5.00
R3A3	F332.516.4PIST	PIST	0.325	16.4	C	T	5.50
R3A3	F314.512.6QURU	QURU	0.145	12.6	F	T	8.97
R3A3	F315.510.9QURU	QURU	0.155	10.9	F	T	4.84
R3A3	F39.56.8ABBA	ABBA	0.095	6.8	C	T	6.38
R3A3	F311.59.5ABBA	ABBA	0.115	9.5	C	T	7.80
R3A3	F316.511.3QURU	QURU	0.165	11.3	F	T	7.28
R3A3	F33513PIST	PIST	0.35	13	C	T	7.67
R3A3	F323.515.5PIST	PIST	0.235	15.5	C	T	9.59
R3A3	F39.510.1PIST	PIST	0.095	10.1	C	T	8.34
R3A3	F334.518PIST	PIST	0.345	18	C	T	4.26
R3A3	F310.59.6QURU	QURU	0.105	9.6	F	T	3.78
R3A3	F311.510.2QURU	QURU	0.115	10.2	F	T	6.28
R3A3	F334.515.4PIST	PIST	0.345	15.4	C	T	6.16
R3A4	F3A4	PIST	0.34	15.5	C	T	0.00
R3A4	F32413.5PIST	PIST	0.24	13.5	C	T	9.77
R3A4	F31912.5PIST	PIST	0.19	12.5	C	T	9.02
R3A4	F315.513.6QURU	QURU	0.155	13.6	F	T	4.01
R3A4	F315.68.9QURU	QURU	0.156	8.9	F	T	7.41
R3A4	F31411.6PIST	PIST	0.14	11.6	C	T	6.38

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
L1A1	L313.910.3ABBA	ABBA	0.139	10.3	C	T	7.65
L1A1	L31010.6ABBA	ABBA	0.1	10.6	C	T	9.72
L1A1	L11712PIST	PIST	0.17	12	C	T	7.94
L1A1	L123.818PIRE	PIRE	0.238	18	C	I	7.46
L1A1	L132.620.3PIRE	PIRE	0.326	20.3	C	I	7.20
L1A1	L139.529.4PIRE	PIRE	0.395	29.4	C	I	7.13
L1A1	L11412.7ABBA	ABBA	0.14	12.7	C	T	7.62
L1A1	L126.217.9PIRE	PIRE	0.262	17.9	C	I	5.72
L1A1	L113.811.6ABBA	ABBA	0.138	11.6	C	T	5.85
L1A1	L111.811.7ABBA	ABBA	0.118	11.7	C	T	6.04
L1A1	L110.512.4PIMA	PIMA	0.105	12.4	C	T	6.51
L1A1	L113.511PIMA	PIMA	0.135	11	C	T	7.03
L1A1	L111.512.9ABBA	ABBA	0.115	12.9	C	T	5.27
L1A1	L113.111.9PIST	PIST	0.131	11.9	C	T	6.92
L1A1	L112.59.2PIST	PIST	0.125	9.2	C	T	4.10
L1A1	L111.312.7ABBA	ABBA	0.113	12.7	C	T	6.73
L1A1	L116.814.8ABBA	ABBA	0.168	14.8	C	T	9.47
L1A1	L113.613.4BEPA	BEPA	0.136	13.4	F	I	9.02
L1A1	L110.29.7ABBA	ABBA	0.102	9.7	C	T	7.66
L1A1	L110.610.6ABBA	ABBA	0.106	10.6	C	T	6.06
L1A1	L111.912.8BEPA	BEPA	0.119	12.8	F	I	7.64
L1A1	L11211.5BEPA	BEPA	0.12	11.5	F	I	7.50
L1A1	L11111.3BEPA	BEPA	0.11	11.3	F	I	8.01
L1A1	L1A1	PIST	0.487	28.9	C	T	0.00
L1A2	L12116PIST	PIST	0.21	16	C	T	8.37
L1A2	L115.510.6PIST	PIST	0.155	10.6	C	T	2.31
L1A2	L130.618.2PIST	PIST	0.306	18.2	C	T	9.38
L1A2	L114.114.7PIST	PIST	0.141	14.7	C	T	10.00
L1A2	L110.710.5ABBA	ABBA	0.107	10.5	C	T	6.27
L1A2	L129.818.7PIRE	PIRE	0.298	18.7	C	I	5.18
L1A2	L115.715.1PIST	PIST	0.157	15.1	C	T	8.04
L1A2	L111.513.2PIST	PIST	0.115	13.2	C	T	3.78
L1A2	L114.215.5PIRE	PIRE	0.142	15.5	C	I	3.27
L1A2	L118.916PIST	PIST	0.189	16	C	T	5.77
L1A2	L131.624.4PIBA	PIBA	0.316	24.4	C	T	5.42
L1A2	L126.621.6PIBA	PIBA	0.266	21.6	C	T	6.22
L1A2	L113.713.3PIBA	PIBA	0.137	13.3	C	T	5.79
L1A2	L11110.9PIST	PIST	0.11	10.9	C	T	7.17
L1A2	L120.516.1PIST	PIST	0.205	16.1	C	T	4.86

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
L1A2	L11312.6PIST	PIST	0.13	12.6	C	T	3.67
L1A2	L128.721.2PIBA	PIBA	0.287	21.2	C	T	7.51
L1A2	L134.123.3PIRE	PIRE	0.341	23.3	C	I	7.58
L1A2	L131.324.1PIBA	PIBA	0.313	24.1	C	T	4.51
L1A2	L123.620.7PIRE	PIRE	0.236	20.7	C	I	5.10
L1A2	L119.218PIST	PIST	0.192	18	C	T	9.60
L1A2	L112.619BEPA	BEPA	0.126	19	F	I	8.87
L1A2	L139.529.4PIRE	PIRE	0.395	29.4	C	I	7.73
L1A2	L126.217.9PIRE	PIRE	0.262	17.9	C	I	8.49
L1A2	L110.29.7ABBA	ABBA	0.102	9.7	C	T	9.87
L1A2	L110.610.6ABBA	ABBA	0.106	10.6	C	T	6.28
L1A2	L111.912.8BEPA	BEPA	0.119	12.8	F	I	4.79
L1A2	L11211.5BEPA	BEPA	0.12	11.5	F	I	5.23
L1A2	L11111.3BEPA	BEPA	0.11	11.3	F	I	5.14
L1A2	L1A3	PIST	0.32	20.7	C	T	8.11
L1A2	L1A2	PIST	0.338	20.7	C	T	0.00
L1A3	L115.510.6PIST	PIST	0.155	10.6	C	T	9.90
L1A3	L130.618.2PIST	PIST	0.306	18.2	C	T	8.68
L1A3	L114.114.7PIST	PIST	0.141	14.7	C	T	7.96
L1A3	L110.710.5ABBA	ABBA	0.107	10.5	C	T	4.80
L1A3	L129.818.7PIRE	PIRE	0.298	18.7	C	I	4.50
L1A3	L11117.9BEPA	BEPA	0.11	17.9	F	I	2.41
L1A3	L115.715.1PIST	PIST	0.157	15.1	C	T	0.67
L1A3	L111.513.2PIST	PIST	0.115	13.2	C	T	4.36
L1A3	L114.215.5PIRE	PIRE	0.142	15.5	C	I	5.01
L1A3	L118.916PIST	PIST	0.189	16	C	T	3.19
L1A3	L131.624.4PIBA	PIBA	0.316	24.4	C	T	3.83
L1A3	L126.621.6PIBA	PIBA	0.266	21.6	C	T	3.28
L1A3	L113.713.3PIBA	PIBA	0.137	13.3	C	T	4.16
L1A3	L11110.9PIST	PIST	0.11	10.9	C	T	5.61
L1A3	L120.516.1PIST	PIST	0.205	16.1	C	T	6.21
L1A3	L128.721.2PIBA	PIBA	0.287	21.2	C	T	7.86
L1A3	L11715.3PIST	PIST	0.17	15.3	C	T	8.55
L1A3	L134.123.3PIRE	PIRE	0.341	23.3	C	I	9.68
L1A3	L131.324.1PIBA	PIBA	0.313	24.1	C	T	9.81
L1A3	L1A3	PIST	0.32	20.7	C	T	0.00
L1A3	L1A2	PIST	0.338	20.7	C	T	8.11
L1A4	L119.714.7PIST	PIST	0.197	14.7	C	T	9.31
L1A4	L115.813.8PIST	PIST	0.158	13.8	C	T	6.88

Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
L1A4	L133.824PIRE	PIRE	0.338	24	C	I	4.87
L1A4	L126.721.4PIBA	PIBA	0.267	21.4	C	T	8.61
L1A4	L112.619BEPA	BEPA	0.126	19	F	I	9.38
L1A4	L111.613.2PIRE	PIRE	0.116	13.2	C	I	4.27
L1A4	L118.220PIST	PIST	0.182	20	C	T	4.68
L1A4	L115.913.4PIRE	PIRE	0.159	13.4	C	I	3.56
L1A4	L114.415.3PIST	PIST	0.144	15.3	C	T	1.12
L1A4	L116.514.75PIRE	PIRE	0.165	14.75	C	I	3.35
L1A4	L1119.7ABBA	ABBA	0.11	9.7	C	T	3.25
L1A4	L111.313.9BEPA	BEPA	0.113	13.9	F	I	2.03
L1A4	L114.311.3BEPA	BEPA	0.143	11.3	F	I	2.71
L1A4	L115.715PIST	PIST	0.157	15	C	T	1.14
L1A4	L122.216.3PIMA	PIMA	0.222	16.3	C	T	6.10
L1A4	L11712PIST	PIST	0.17	12	C	T	5.28
L1A4	L123.818PIRE	PIRE	0.238	18	C	I	6.24
L1A4	L132.620.3PIRE	PIRE	0.326	20.3	C	I	7.26
L1A4	L11412.7ABBA	ABBA	0.14	12.7	C	T	9.29
L1A4	L1A4	PIST	0.462	29.4	C	T	0.00
L2A1	L222.118.5PIST	PIST	0.221	18.5	C	T	0.74
L2A1	L228.621.8PIST	PIST	0.286	21.8	C	T	1.76
L2A1	L215.412.6ABBA	ABBA	0.154	12.6	C	T	8.10
L2A1	L217.916.9PIMA	PIMA	0.179	16.9	C	T	4.25
L2A1	L211.913.7ABBA	ABBA	0.119	13.7	C	T	8.17
L2A1	L213.211.4PIRE	PIRE	0.132	11.4	C	I	8.53
L2A1	L214.314.7ABBA	ABBA	0.143	14.7	C	T	5.87
L2A1	L213.815.1PIMA	PIMA	0.138	15.1	C	T	6.96
L2A1	L220.619.3PIRE	PIRE	0.206	19.3	C	I	6.85
L2A1	L213.819.9POTR	POTR	0.138	19.9	F	I	8.71
L2A1	L23224.7PIST	PIST	0.32	24.7	C	T	8.49
L2A1	L223.519.2POTR	POTR	0.235	19.2	F	I	8.39
L2A1	L212.312.3ABBA	ABBA	0.123	12.3	C	T	5.45
L2A1	L224.322.4PIRE	PIRE	0.243	22.4	C	I	4.16
L2A1	L213.114.6ABBA	ABBA	0.131	14.6	C	T	6.99
L2A1	L21920.2PIRE	PIRE	0.19	20.2	C	I	3.14
L2A1	L212.511ABBA	ABBA	0.125	11	C	T	5.40
L2A1	L2A4	PIST	0.276	25.6	C	T	3.59
L2A1	L2A3	PIST	0.239	21.5	C	T	2.93
L2A1	L2A2	PIST	0.272	20.8	C	T	1.83
L2A1	L2A1	PIST	0.324	24.2	C	T	0.00

Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
L2A2	L222.118.5PIST	PIST	0.221	18.5	C	T	1.43
L2A2	L228.621.8PIST	PIST	0.286	21.8	C	T	1.05
L2A2	L215.412.6ABBA	ABBA	0.154	12.6	C	T	6.27
L2A2	L217.916.9PIMA	PIMA	0.179	16.9	C	T	3.36
L2A2	L211.913.7ABBA	ABBA	0.119	13.7	C	T	6.84
L2A2	L213.211.4PIRE	PIRE	0.132	11.4	C	I	7.60
L2A2	L214.314.7ABBA	ABBA	0.143	14.7	C	T	5.10
L2A2	L213.815.1PIMA	PIMA	0.138	15.1	C	T	6.85
L2A2	L220.619.3PIRE	PIRE	0.206	19.3	C	I	8.67
L2A2	L23224.7PIST	PIST	0.32	24.7	C	T	9.86
L2A2	L223.519.2POTR	POTR	0.235	19.2	F	I	9.09
L2A2	L212.312.3ABBA	ABBA	0.123	12.3	C	T	6.37
L2A2	L224.322.4PIRE	PIRE	0.243	22.4	C	I	5.13
L2A2	L213.114.6ABBA	ABBA	0.131	14.6	C	T	6.09
L2A2	L21920.2PIRE	PIRE	0.19	20.2	C	I	4.95
L2A2	L212.511ABBA	ABBA	0.125	11	C	T	6.98
L2A2	L2A4	PIST	0.276	25.6	C	T	4.15
L2A2	L2A3	PIST	0.239	21.5	C	T	3.66
L2A2	L2A2	PIST	0.272	20.8	C	T	0.00
L2A2	L2A1	PIST	0.324	24.2	C	T	1.83
L2A3	L222.118.5PIST	PIST	0.221	18.5	C	T	3.56
L2A3	L228.621.8PIST	PIST	0.286	21.8	C	T	2.67
L2A3	L215.412.6ABBA	ABBA	0.154	12.6	C	T	8.92
L2A3	L217.916.9PIMA	PIMA	0.179	16.9	C	T	6.90
L2A3	L214.314.7ABBA	ABBA	0.143	14.7	C	T	8.61
L2A3	L213.815.1PIMA	PIMA	0.138	15.1	C	T	9.89
L2A3	L225.520.4PIRE	PIRE	0.255	20.4	C	I	9.63
L2A3	L220.619.3PIRE	PIRE	0.206	19.3	C	I	6.80
L2A3	L213.819.9POTR	POTR	0.138	19.9	F	I	7.16
L2A3	L217.720.1POTR	POTR	0.177	20.1	F	I	9.23
L2A3	L23224.7PIST	PIST	0.32	24.7	C	T	6.40
L2A3	L220.418.5POTR	POTR	0.204	18.5	F	I	7.46
L2A3	L223.519.2POTR	POTR	0.235	19.2	F	I	5.51
L2A3	L212.312.3ABBA	ABBA	0.123	12.3	C	T	2.71
L2A3	L224.322.4PIRE	PIRE	0.243	22.4	C	I	1.50
L2A3	L213.114.6ABBA	ABBA	0.131	14.6	C	T	5.29
L2A3	L21920.2PIRE	PIRE	0.19	20.2	C	I	3.67
L2A3	L212.511ABBA	ABBA	0.125	11	C	T	7.20
L2A3	L2A4	PIST	0.276	25.6	C	T	0.69



<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
L2A3	L2A3	PIST	0.239	21.5	C	T	0.00
L2A3	L2A2	PIST	0.272	20.8	C	T	3.66
L2A3	L2A1	PIST	0.324	24.2	C	T	2.93
L2A4	L222.118.5PIST	PIST	0.221	18.5	C	T	4.19
L2A4	L228.621.8PIST	PIST	0.286	21.8	C	T	3.12
L2A4	L215.412.6ABBA	ABBA	0.154	12.6	C	T	9.04
L2A4	L217.916.9PIMA	PIMA	0.179	16.9	C	T	7.45
L2A4	L214.314.7ABBA	ABBA	0.143	14.7	C	T	9.17
L2A4	L225.520.4PIRE	PIRE	0.255	20.4	C	I	9.87
L2A4	L220.619.3PIRE	PIRE	0.206	19.3	C	I	7.17
L2A4	L213.819.9POTR	POTR	0.138	19.9	F	I	7.15
L2A4	L217.720.1POTR	POTR	0.177	20.1	F	I	8.95
L2A4	L23224.7PIST	PIST	0.32	24.7	C	T	6.22
L2A4	L220.418.5POTR	POTR	0.204	18.5	F	I	7.04
L2A4	L223.519.2POTR	POTR	0.235	19.2	F	I	4.95
L2A4	L212.312.3ABBA	ABBA	0.123	12.3	C	T	2.31
L2A4	L224.322.4PIRE	PIRE	0.243	22.4	C	I	1.32
L2A4	L213.114.6ABBA	ABBA	0.131	14.6	C	T	4.87
L2A4	L21920.2PIRE	PIRE	0.19	20.2	C	I	4.24
L2A4	L212.511ABBA	ABBA	0.125	11	C	T	7.83
L2A4	L2A4	PIST	0.276	25.6	C	T	0.00
L2A4	L2A3	PIST	0.239	21.5	C	T	0.69
L2A4	L2A2	PIST	0.272	20.8	C	T	4.15
L2A4	L2A1	PIST	0.324	24.2	C	T	3.59
L3A1	L311.512.1ABBA	ABBA	0.115	12.1	C	T	3.92
L3A1	L311.612.9ABBA	ABBA	0.116	12.9	C	T	6.72
L3A1	L315.713.7PIST	PIST	0.157	13.7	C	T	5.77
L3A1	L328.813.9PIST	PIST	0.288	13.9	C	T	3.17
L3A1	L312.313.8PIMA	PIMA	0.123	13.8	C	T	3.15
L3A1	L313.916.2PIMA	PIMA	0.139	16.2	C	T	2.45
L3A1	L311.611.6ABBA	ABBA	0.116	11.6	C	T	7.51
L3A1	L318.613.8PIMA	PIMA	0.186	13.8	C	T	5.88
L3A1	L313.212.3ABBA	ABBA	0.132	12.3	C	T	4.42
L3A1	L319.615ABBA	ABBA	0.196	15	C	T	8.82
L3A1	L311.813.1ABBA	ABBA	0.118	13.1	C	T	9.76
L3A1	L310.610.6PIST	PIST	0.106	10.6	C	T	8.17
L3A1	L31011PIMA	PIMA	0.1	11	C	T	7.62
L3A1	L312.714.8ABBA	ABBA	0.127	14.8	C	T	3.27
L3A1	L314.612.5ABBA	ABBA	0.146	12.5	C	T	3.60

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
L3A1	L323.417.4PIMA	PIMA	0.234	17.4	C	T	6.04
L3A1	L3A4	PIST	0.324	17.7	C	T	6.04
L3A1	L3A3	PIST	0.254	17.4	C	T	1.90
L3A1	L3A2	PIST	0.276	20.4	C	T	1.38
L3A1	L3A1	PIST	0.294	19.2	C	T	0.00
L3A1	L219.615.6PIMA	PIMA	0.196	15.6	C	T	9.32
L3A1	L218.115.8ABBA	ABBA	0.181	15.8	C	T	7.30
L3A1	L215.814.2ABBA	ABBA	0.158	14.2	C	T	9.01
L3A2	L311.512.1ABBA	ABBA	0.115	12.1	C	T	3.93
L3A2	L311.612.9ABBA	ABBA	0.116	12.9	C	T	6.04
L3A2	L315.713.7PIST	PIST	0.157	13.7	C	T	5.91
L3A2	L328.813.9PIST	PIST	0.288	13.9	C	T	4.30
L3A2	L312.313.8PIMA	PIMA	0.123	13.8	C	T	4.28
L3A2	L313.916.2PIMA	PIMA	0.139	16.2	C	T	3.44
L3A2	L311.611.6ABBA	ABBA	0.116	11.6	C	T	7.81
L3A2	L318.613.8PIMA	PIMA	0.186	13.8	C	T	6.45
L3A2	L313.212.3ABBA	ABBA	0.132	12.3	C	T	5.68
L3A2	L319.615ABBA	ABBA	0.196	15	C	T	9.80
L3A2	L32215.6PIST	PIST	0.22	15.6	C	T	9.24
L3A2	L310.610.6PIST	PIST	0.106	10.6	C	T	7.37
L3A2	L311.712.8ABBA	ABBA	0.117	12.8	C	T	9.29
L3A2	L311.512.5PIMA	PIMA	0.115	12.5	C	T	9.35
L3A2	L31011PIMA	PIMA	0.1	11	C	T	6.81
L3A2	L312.714.8ABBA	ABBA	0.127	14.8	C	T	2.71
L3A2	L314.612.5ABBA	ABBA	0.146	12.5	C	T	2.49
L3A2	L323.417.4PIMA	PIMA	0.234	17.4	C	T	4.68
L3A2	L3A4	PIST	0.324	17.7	C	T	7.05
L3A2	L3A3	PIST	0.254	17.4	C	T	1.85
L3A2	L3A2	PIST	0.276	20.4	C	T	0.00
L3A2	L3A1	PIST	0.294	19.2	C	T	1.38
L3A2	L219.615.6PIMA	PIMA	0.196	15.6	C	T	8.56
L3A2	L218.115.8ABBA	ABBA	0.181	15.8	C	T	7.14
L3A2	L215.814.2ABBA	ABBA	0.158	14.2	C	T	9.07
L3A3	L311.512.1ABBA	ABBA	0.115	12.1	C	T	2.12
L3A3	L311.612.9ABBA	ABBA	0.116	12.9	C	T	4.87
L3A3	L315.713.7PIST	PIST	0.157	13.7	C	T	4.07
L3A3	L328.813.9PIST	PIST	0.288	13.9	C	T	3.16
L3A3	L312.313.8PIMA	PIMA	0.123	13.8	C	T	3.15
L3A3	L313.916.2PIMA	PIMA	0.139	16.2	C	T	4.33

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
L3A3	L311.611.6ABBA	ABBA	0.116	11.6	C	T	9.35
L3A3	L318.613.8PIMA	PIMA	0.186	13.8	C	T	7.78
L3A3	L313.212.3ABBA	ABBA	0.132	12.3	C	T	6.02
L3A3	L310.610.6PIST	PIST	0.106	10.6	C	T	9.19
L3A3	L311.512.5PIMA	PIMA	0.115	12.5	C	T	9.32
L3A3	L31011PIMA	PIMA	0.1	11	C	T	5.83
L3A3	L312.714.8ABBA	ABBA	0.127	14.8	C	T	1.46
L3A3	L314.612.5ABBA	ABBA	0.146	12.5	C	T	2.37
L3A3	L323.417.4PIMA	PIMA	0.234	17.4	C	T	5.37
L3A3	L3A4	PIST	0.324	17.7	C	T	7.87
L3A3	L3A3	PIST	0.254	17.4	C	T	0.00
L3A3	L3A2	PIST	0.276	20.4	C	T	1.85
L3A3	L3A1	PIST	0.294	19.2	C	T	1.90
L3A3	L219.615.6PIMA	PIMA	0.196	15.6	C	T	7.48
L3A3	L21211.4PIMA	PIMA	0.12	11.4	C	T	9.32
L3A3	L218.115.8ABBA	ABBA	0.181	15.8	C	T	5.45
L3A3	L215.814.2ABBA	ABBA	0.158	14.2	C	T	7.28
L3A4	L311.512.1ABBA	ABBA	0.115	12.1	C	T	9.57
L3A4	L328.813.9PIST	PIST	0.288	13.9	C	T	6.76
L3A4	L312.313.8PIMA	PIMA	0.123	13.8	C	T	6.73
L3A4	L313.916.2PIMA	PIMA	0.139	16.2	C	T	3.62
L3A4	L311.611.6ABBA	ABBA	0.116	11.6	C	T	4.32
L3A4	L318.613.8PIMA	PIMA	0.186	13.8	C	T	2.46
L3A4	L313.212.3ABBA	ABBA	0.132	12.3	C	T	2.42
L3A4	L314.212.1ABBA	ABBA	0.142	12.1	C	T	6.36
L3A4	L319.615ABBA	ABBA	0.196	15	C	T	2.78
L3A4	L310.211.4ABBA	ABBA	0.102	11.4	C	T	9.14
L3A4	L310.711.4ABBA	ABBA	0.107	11.4	C	T	5.61
L3A4	L311.813.1ABBA	ABBA	0.118	13.1	C	T	5.99
L3A4	L311.311.1ABBA	ABBA	0.113	11.1	C	T	6.28
L3A4	L312.312.2ABBA	ABBA	0.123	12.2	C	T	6.71
L3A4	L319.312.9PIST	PIST	0.193	12.9	C	T	7.71
L3A4	L310.610.6PIST	PIST	0.106	10.6	C	T	9.48
L3A4	L312.714.8ABBA	ABBA	0.127	14.8	C	T	9.30
L3A4	L314.612.5ABBA	ABBA	0.146	12.5	C	T	9.53
L3A4	L3A4	PIST	0.324	17.7	C	T	0.00
L3A4	L3A3	PIST	0.254	17.4	C	T	7.87
L3A4	L3A2	PIST	0.276	20.4	C	T	7.05
L3A4	L3A1	PIST	0.294	19.2	C	T	6.04

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
P1A1	P1A1	PIST	0.605	25.7	C	T	0.00
P1A1	P116.315.4ABBA	ABBA	0.163	15.4	C	T	9.01
P1A1	P11211ABBA	ABBA	0.12	11	C	T	8.50
P1A1	P114.213.9ABBA	ABBA	0.142	13.9	C	T	7.18
P1A1	P11313.9ABBA	ABBA	0.13	13.9	C	T	6.68
P1A1	P125.815ABBA	ABBA	0.258	15	C	T	4.54
P1A1	P1146.6BEAL	BEAL	0.14	6.6	F	T	4.35
P1A1	P113.415BEAL	BEAL	0.134	15	F	T	4.08
P1A1	P112.611.9ABBA	ABBA	0.126	11.9	C	T	3.19
P1A1	P12417.1POTR	POTR	0.24	17.1	F	I	3.51
P1A1	P116.818.8ABBA	ABBA	0.168	18.8	C	T	5.93
P1A1	P119.818.3ABBA	ABBA	0.198	18.3	C	T	4.16
P1A1	P110.513.9ACRU	ACRU	0.105	13.9	F	T	5.85
P1A1	P114.314.1ABBA	ABBA	0.143	14.1	C	T	8.47
P1A1	P11715.2ABBA	ABBA	0.17	15.2	C	T	7.11
P1A1	P112.313.3ABBA	ABBA	0.123	13.3	C	T	9.28
P1A1	P110.811.9ABBA	ABBA	0.108	11.9	C	T	7.79
P1A1	P126.523.5PIBA	PIBA	0.265	23.5	C	T	8.48
P1A2	P1A3	PIST	0.312	16.6	C	T	1.57
P1A2	P1A2	PIST	0.358	22.5	C	T	0.00
P1A2	P125.318.5BEPA	BEPA	0.253	18.5	F	I	8.69
P1A2	P120.316.5PIBA	PIBA	0.203	16.5	C	T	7.24
P1A2	P112.511.6ABBA	ABBA	0.125	11.6	C	T	9.11
P1A2	P121.623.5ABBA	ABBA	0.216	23.5	C	T	9.71
P1A2	P119.818.3ABBA	ABBA	0.198	18.3	C	T	9.58
P1A2	P110.513.9ACRU	ACRU	0.105	13.9	F	T	8.05
P1A2	P11715.2ABBA	ABBA	0.17	15.2	C	T	8.00
P1A2	P112.313.3ABBA	ABBA	0.123	13.3	C	T	4.60
P1A2	P110.611.2PIBA	PIBA	0.106	11.2	C	T	6.38
P1A2	P111.611.2PIBA	PIBA	0.116	11.2	C	T	6.38
P1A2	P123.719.5ABBA	ABBA	0.237	19.5	C	T	2.77
P1A2	P121.219.9BEPA	BEPA	0.212	19.9	F	I	3.62
P1A2	P142.818.9BEPA	BEPA	0.428	18.9	F	I	3.38
P1A2	P110.110.3ABBA	ABBA	0.101	10.3	C	T	2.30
P1A2	P110.811.9ABBA	ABBA	0.108	11.9	C	T	8.46
P1A2	P121.415.8ABBA	ABBA	0.214	15.8	C	T	3.15
P1A2	P12914.3PIBA	PIBA	0.29	14.3	C	T	5.50
P1A2	P125.614.8PIBA	PIBA	0.256	14.8	C	T	6.05
P1A2	P113.2511.7PIBA	PIBA	0.1325	11.7	C	T	3.78

Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
P1A2	P114.813.8ABBA	ABBA	0.148	13.8	C	T	4.60
P1A2	P113.2516.1ABBA	ABBA	0.1325	16.1	C	T	5.23
P1A2	P126.523.5PIBA	PIBA	0.265	23.5	C	T	8.28
P1A3	P1A3	PIST	0.312	16.6	C	T	0.00
P1A3	P1A2	PIST	0.358	22.5	C	T	1.57
P1A3	P125.318.5BEPA	BEPA	0.253	18.5	F	I	9.65
P1A3	P120.316.5PIBA	PIBA	0.203	16.5	C	T	8.80
P1A3	P110.513.9ACRU	ACRU	0.105	13.9	F	T	8.77
P1A3	P11715.2ABBA	ABBA	0.17	15.2	C	T	9.39
P1A3	P112.313.3ABBA	ABBA	0.123	13.3	C	T	5.20
P1A3	P110.611.2PIBA	PIBA	0.106	11.2	C	T	5.14
P1A3	P111.611.2PIBA	PIBA	0.116	11.2	C	T	5.14
P1A3	P123.719.5ABBA	ABBA	0.237	19.5	C	T	2.03
P1A3	P121.219.9BEPA	BEPA	0.212	19.9	F	I	2.20
P1A3	P142.818.9BEPA	BEPA	0.428	18.9	F	I	2.00
P1A3	P110.110.3ABBA	ABBA	0.101	10.3	C	T	3.79
P1A3	P110.811.9ABBA	ABBA	0.108	11.9	C	T	9.92
P1A3	P121.415.8ABBA	ABBA	0.214	15.8	C	T	4.71
P1A3	P12914.3PIBA	PIBA	0.29	14.3	C	T	5.02
P1A3	P125.614.8PIBA	PIBA	0.256	14.8	C	T	5.91
P1A3	P113.2511.7PIBA	PIBA	0.1325	11.7	C	T	4.91
P1A3	P114.813.8ABBA	ABBA	0.148	13.8	C	T	5.68
P1A3	P113.2516.1ABBA	ABBA	0.1325	16.1	C	T	6.79
P1A3	P126.523.5PIBA	PIBA	0.265	23.5	C	T	9.78
P1A4	P1A4	PIST	0.367	21.7	C	T	0.00
P1A4	P120.316.5PIBA	PIBA	0.203	16.5	C	T	5.83
P1A4	P112.511.6ABBA	ABBA	0.125	11.6	C	T	7.44
P1A4	P121.623.5ABBA	ABBA	0.216	23.5	C	T	4.47
P1A4	P11313.2ABBA	ABBA	0.13	13.2	C	T	8.39
P1A4	P111.212.4ABBA	ABBA	0.112	12.4	C	T	6.68
P1A4	P111.810.5ABBA	ABBA	0.118	10.5	C	T	6.73
P1A4	P131.820.6PIST	PIST	0.318	20.6	C	T	3.98
P1A4	P123.517.3ABBA	ABBA	0.235	17.3	C	T	3.28
P1A4	P143.121.8PIST	PIST	0.431	21.8	C	T	0.72
P1A4	P124.823.7POTR	POTR	0.248	23.7	F	I	1.45
P1A4	P116.913.3ABBA	ABBA	0.169	13.3	C	T	7.61
P1A4	P11215.1POTR	POTR	0.12	15.1	F	I	5.93
P1A4	P11620.4POTR	POTR	0.16	20.4	F	I	7.16
P1A4	P149.623.4PIST	PIST	0.496	23.4	C	T	8.41

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
P1A4	P112.514.9BEPA	BEPA	0.125	14.9	F	I	4.55
P1A4	P116.510.8ABBA	ABBA	0.165	10.8	C	T	8.05
P1A4	P119.417.3BEPA	BEPA	0.194	17.3	F	I	6.35
P1A4	P11815.8BEAL	BEAL	0.18	15.8	F	T	5.29
P1A4	P116.315.4ABBA	ABBA	0.163	15.4	C	T	6.77
P1A4	P112.611.9ABBA	ABBA	0.126	11.9	C	T	8.66
P1A4	P11715.2ABBA	ABBA	0.17	15.2	C	T	6.98
P1A4	P110.811.9ABBA	ABBA	0.108	11.9	C	T	5.88
P1A4	P121.415.8ABBA	ABBA	0.214	15.8	C	T	9.86
P1A4	P113.2516.1ABBA	ABBA	0.1325	16.1	C	T	7.77
P1A4	P126.523.5PIBA	PIBA	0.265	23.5	C	T	5.52
P2A1	P2A4	PIST	0.35	18.1	C	T	9.61
P2A1	P2A1	PIST	0.415	20.6	C	T	0.00
P2A1	P22216.4ABBA	ABBA	0.22	16.4	C	T	9.99
P2A1	P21110.4ABBA	ABBA	0.11	10.4	C	T	2.26
P2A1	P214.511.9ABBA	ABBA	0.145	11.9	C	T	7.22
P2A1	P217.613.7ACSA	ACSA	0.176	13.7	F	T	6.19
P2A1	P223.219.2POTR	POTR	0.232	19.2	F	I	3.51
P2A1	P210.810.7ABBA	ABBA	0.108	10.7	C	T	5.08
P2A1	P223.516.3PIRU	PIRU	0.235	16.3	C	T	6.22
P2A1	P211.38.8ABBA	ABBA	0.113	8.8	C	T	7.65
P2A2	P2A2	PIST	0.394	21.9	C	T	0.00
P2A2	P210.511.1ABBA	ABBA	0.105	11.1	C	T	3.79
P2A2	P228.913.8ABBA	ABBA	0.289	13.8	C	T	5.51
P2A2	P214.811.7ABBA	ABBA	0.148	11.7	C	T	5.51
P2A2	P24818.6PIST	PIST	0.48	18.6	C	T	7.30
P2A2	P210.710.1ABBA	ABBA	0.107	10.1	C	T	9.06
P2A2	P228.722.2POTR	POTR	0.287	22.2	F	I	9.51
P2A2	P212.311.5ABBA	ABBA	0.123	11.5	C	T	9.40
P2A3	P2A3	PIST	0.34	19.3	C	T	0.00
P2A3	P215.713.8PIST	PIST	0.157	13.8	C	T	9.33
P2A3	P211.915.7ABBA	ABBA	0.119	15.7	C	T	6.40
P2A3	P212.613.5ABBA	ABBA	0.126	13.5	C	T	5.35
P2A3	P225.121.1PIRE	PIRE	0.251	21.1	C	I	4.44
P2A3	P223.316.1PIRE	PIRE	0.233	16.1	C	I	3.27
P2A3	P211.517PIST	PIST	0.115	17	C	T	2.95
P2A3	P22616.6PIST	PIST	0.26	16.6	C	T	2.57
P2A3	P22320.6PIST	PIST	0.23	20.6	C	T	2.79
P2A3	P249.224.8PIST	PIST	0.492	24.8	C	T	3.44

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
P2A3	P210.512.6BEAL	BEAL	0.105	12.6	F	T	6.91
P2A3	P214.112.6BEAL	BEAL	0.141	12.6	F	T	6.91
P2A3	P210.811.1ABBA	ABBA	0.108	11.1	C	T	7.62
P2A4	P2A4	PIST	0.35	18.1	C	T	0.00
P2A4	P2A1	PIST	0.415	20.6	C	T	9.61
P2A4	P210.811.1ABBA	ABBA	0.108	11.1	C	T	9.03
P2A4	P217.912.1ABBA	ABBA	0.179	12.1	C	T	7.58
P2A4	P215.412.7ABBA	ABBA	0.154	12.7	C	T	6.81
P2A4	P22216.4ABBA	ABBA	0.22	16.4	C	T	7.49
P2A4	P21110.4ABBA	ABBA	0.11	10.4	C	T	8.51
P2A4	P214.511.9ABBA	ABBA	0.145	11.9	C	T	8.76
P3A1	P3A1	PIST	0.46	20.2	C	T	0.00
P3A1	P32314.9ABBA	ABBA	0.23	14.9	C	T	8.45
P3A1	P347.324.4PIST	PIST	0.473	24.4	C	T	8.94
P3A1	P315.312.3ABBA	ABBA	0.153	12.3	C	T	7.68
P3A1	P314.414.7ABBA	ABBA	0.144	14.7	C	T	5.58
P3A1	P316.710.8ABBA	ABBA	0.167	10.8	C	T	5.50
P3A1	P313.912.7ACRU	ACRU	0.139	12.7	F	T	5.97
P3A1	P314.511.6ABBA	ABBA	0.145	11.6	C	T	4.23
P3A1	P313.711.7ABBA	ABBA	0.137	11.7	C	T	1.12
P3A1	P313.212.5ABBA	ABBA	0.132	12.5	C	T	1.30
P3A1	P316.813.5ABBA	ABBA	0.168	13.5	C	T	1.58
P3A1	P3126.5ABBA	ABBA	0.12	6.5	C	T	2.20
P3A1	P315.212.4PIST	PIST	0.152	12.4	C	T	2.03
P3A1	P313.511.7ABBA	ABBA	0.135	11.7	C	T	1.68
P3A1	P318.313.2ABBA	ABBA	0.183	13.2	C	T	4.41
P3A1	P321.515ABBA	ABBA	0.215	15	C	T	4.44
P3A1	P31413.5ABBA	ABBA	0.14	13.5	C	T	4.26
P3A1	P312.411.3ABBA	ABBA	0.124	11.3	C	T	6.32
P3A2	P3A4	PIST	0.383	24	C	T	5.19
P3A2	P3A3	PIST	0.39	23.8	C	T	4.15
P3A2	P3A2	PIST	0.39	23.6	C	T	0.00
P3A2	P315.713.3ABBA	ABBA	0.157	13.3	C	T	9.69
P3A2	P315.312.3ABBA	ABBA	0.153	12.3	C	T	9.51
P3A2	P313.511.7ABBA	ABBA	0.135	11.7	C	T	9.85
P3A2	P318.313.2ABBA	ABBA	0.183	13.2	C	T	7.17
P3A2	P321.515ABBA	ABBA	0.215	15	C	T	9.55
P3A2	P31413.5ABBA	ABBA	0.14	13.5	C	T	8.42
P3A2	P312.411.3ABBA	ABBA	0.124	11.3	C	T	8.39

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
P3A2	P310.811.1ABBA	ABBA	0.108	11.1	C	T	4.05
P3A2	P313.211ABBA	ABBA	0.132	11	C	T	4.40
P3A2	P313.511.6ABBA	ABBA	0.135	11.6	C	T	4.45
P3A2	P32313.4ABBA	ABBA	0.23	13.4	C	T	3.79
P3A2	P312.512.8ABBA	ABBA	0.125	12.8	C	T	6.09
P3A2	P313.912.5ABBA	ABBA	0.139	12.5	C	T	6.51
P3A2	P314.511.9ABBA	ABBA	0.145	11.9	C	T	6.81
P3A2	P310.611.3ABBA	ABBA	0.106	11.3	C	T	5.05
P3A2	P326.127.1PIST	PIST	0.261	27.1	C	T	6.46
P3A2	P31411.8ABBA	ABBA	0.14	11.8	C	T	9.64
P3A2	P312.411ABBA	ABBA	0.124	11	C	T	9.32
P3A2	P316.512.6ABBA	ABBA	0.165	12.6	C	T	8.55
P3A2	P316.513.7ABBA	ABBA	0.165	13.7	C	T	7.73
P3A2	P320.215.1ABBA	ABBA	0.202	15.1	C	T	7.01
P3A3	P3A4	PIST	0.383	24	C	T	1.18
P3A3	P3A3	PIST	0.39	23.8	C	T	0.00
P3A3	P3A2	PIST	0.39	23.6	C	T	4.15
P3A3	P310.811.1ABBA	ABBA	0.108	11.1	C	T	5.67
P3A3	P313.211ABBA	ABBA	0.132	11	C	T	5.21
P3A3	P313.511.6ABBA	ABBA	0.135	11.6	C	T	5.19
P3A3	P32313.4ABBA	ABBA	0.23	13.4	C	T	2.56
P3A3	P312.512.8ABBA	ABBA	0.125	12.8	C	T	4.44
P3A3	P313.912.5ABBA	ABBA	0.139	12.5	C	T	4.93
P3A3	P314.511.9ABBA	ABBA	0.145	11.9	C	T	5.08
P3A3	P310.611.3ABBA	ABBA	0.106	11.3	C	T	2.75
P3A3	P326.127.1PIST	PIST	0.261	27.1	C	T	2.38
P3A3	P31411.8ABBA	ABBA	0.14	11.8	C	T	5.52
P3A3	P312.411ABBA	ABBA	0.124	11	C	T	5.18
P3A3	P320.116.8ABBA	ABBA	0.201	16.8	C	T	7.63
P3A3	P323.315.5PIST	PIST	0.233	15.5	C	T	7.73
P3A3	P319.415.6ABBA	ABBA	0.194	15.6	C	T	9.63
P3A3	P321.515ACRU	ACRU	0.215	15	F	T	9.96
P3A3	P32415ACRU	ACRU	0.24	15	F	T	9.79
P3A3	P316.512.6ABBA	ABBA	0.165	12.6	C	T	7.07
P3A3	P316.513.7ABBA	ABBA	0.165	13.7	C	T	7.16
P3A3	P320.215.1ABBA	ABBA	0.202	15.1	C	T	6.86
P3A4	P3A4	PIST	0.383	24	C	T	0.00
P3A4	P3A3	PIST	0.39	23.8	C	T	1.18
P3A4	P3A2	PIST	0.39	23.6	C	T	5.19



Cible	Comp	Sp	DHP	H	Type	Tol	Dist
P3A4	P310.811.1ABBA	ABBA	0.108	11.1	C	T	6.04
P3A4	P313.211ABBA	ABBA	0.132	11	C	T	5.42
P3A4	P313.511.6ABBA	ABBA	0.135	11.6	C	T	5.37
P3A4	P32313.4ABBA	ABBA	0.23	13.4	C	T	2.71
P3A4	P312.512.8ABBA	ABBA	0.125	12.8	C	T	3.95
P3A4	P313.912.5ABBA	ABBA	0.139	12.5	C	T	4.40
P3A4	P314.511.9ABBA	ABBA	0.145	11.9	C	T	4.49
P3A4	P310.611.3ABBA	ABBA	0.106	11.3	C	T	2.32
P3A4	P326.127.1PIST	PIST	0.261	27.1	C	T	1.28
P3A4	P31411.8ABBA	ABBA	0.14	11.8	C	T	4.47
P3A4	P312.411ABBA	ABBA	0.124	11	C	T	4.27
P3A4	P320.116.8ABBA	ABBA	0.201	16.8	C	T	6.59
P3A4	P323.315.5PIST	PIST	0.233	15.5	C	T	6.70
P3A4	P319.415.6ABBA	ABBA	0.194	15.6	C	T	9.44
P3A4	P316.512.6ABBA	ABBA	0.165	12.6	C	T	7.66
P3A4	P316.513.7ABBA	ABBA	0.165	13.7	C	T	7.97
P3A4	P320.215.1ABBA	ABBA	0.202	15.1	C	T	7.76
R3A2	F3A2	PIST	0.325	0	C	T	0.08
R3A2	F3A1	PIST	0.36	17	C	T	0.46
R3A2	F313.511.7QURU	QURU	0.135	11.7	F	T	9.09
R3A2	F318.511.8PIST	PIST	0.185	11.8	C	T	6.19
R3A2	F33015.3PIST	PIST	0.3	15.3	C	T	8.24
R3A2	F312.511.7ABBA	ABBA	0.125	11.7	C	T	6.38
R3A2	F323.515.5PIST	PIST	0.235	15.5	C	T	8.98
R3A2	F39.510.1PIST	PIST	0.095	10.1	C	T	5.88
R3A2	F31513.1QURU	QURU	0.15	13.1	F	T	1.68
R3A2	F39.29.7QURU	QURU	0.092	9.7	F	T	2.40
R3A2	F334.518PIST	PIST	0.345	18	C	T	7.06
R3A2	F310.59.6QURU	QURU	0.105	9.6	F	T	7.19
R3A2	F311.510.2QURU	QURU	0.115	10.2	F	T	4.65
R3A2	F334.515.4PIST	PIST	0.345	15.4	C	T	7.61
R3A2	F3188.6ACRU	ACRU	0.18	8.6	F	T	4.92
R2A3	F2A3	PIST	0.23	0	C	T	0.00
R2A3	F2A2	PIST	0.285	13.1	C	T	5.34
R2A3	F21211.5QURU	QURU	0.12	11.5	F	T	9.06
R2A3	F22016.6PIST	PIST	0.2	16.6	C	T	9.84
R2A3	F29.116.7PIST	PIST	0.091	16.7	C	T	9.57
R2A3	F21516QURU	QURU	0.15	16	F	T	6.81
R2A3	F21911.5ABBA	ABBA	0.19	11.5	C	T	8.75

<b>Cible</b>	<b>Comp</b>	<b>Sp</b>	<b>DHP</b>	<b>H</b>	<b>Type</b>	<b>Tol</b>	<b>Dist</b>
R2A3	F220.517.1QURU	QURU	0.205	17.1	F	T	9.24
R2A3	F214.510.7QURU	QURU	0.145	10.7	F	T	6.96
R2A3	F21011.7ACRU	ACRU	0.1	11.7	F	T	2.83
R2A3	F22012.9PIST	PIST	0.2	12.9	C	T	3.87
R2A3	F224.513.5PIST	PIST	0.245	13.5	C	T	2.79
R2A3	F213.512.3QURU	QURU	0.135	12.3	F	T	7.87
R2A3	F21811.9PIST	PIST	0.18	11.9	C	T	8.66
R2A3	F222.513.2ABBA	ABBA	0.225	13.2	C	T	8.22

## ANNEXE D: Abondance de gaules et arbustes pour chaque parcelle échantillonnée à l'été 2015

Voir la section Liste des sigles pour la légende des noms d'espèces ainsi que leur type (conifère ou feuillus) et leur tolérance à l'ombre (tolérant ou intolérant à l'ombre). BL=Blainville, RI=Ripon, NDP=Notre-Dame-de-Pontmain, RFV=Réserve faunique de La Vérendrye.

Parcelle	ACRU	QURU	ABBA	TS CA	AME	In c2	PIS T	PR SE	ME L	FA GR	PO TR	AC SP	BE AL	CO CO	BE PA	VIC A	AC SA	AC PE	PI MA	SOA M
<b>BL1</b>	84	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BL2</b>	166	0	1	0	3	0	4	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BL3</b>	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RI1</b>	27	18	25	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RI2</b>	33	26	22	0	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RI3</b>	37	33	9	1	11	11	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RFV 1</b>	1	0	533	0	1	0	6	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
<b>RFV 2</b>	0	0	413	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RFV 3</b>	1	0	583	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	15	1
<b>NDP 1</b>	0	0	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>NDP 2</b>	52	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	485	3	1	2	0	0	0
<b>NDP 3</b>	26	0	193	0	10	0	5	0	0	0	0	1	1	107	16	12	4	4	0	0

## ANNEXE E: Abondance de la végétation se trouvant entre zéro et 1 mètre à partir du sol pour les parcelles échantillonnées en 2015.

Voir la section Liste des sigles pour la légende des noms d'espèces ainsi que leur type (conifère ou feuillus) et leur tolérance à l'ombre (tolérant ou intolérant à l'ombre). BL=Blainville, RI=Ripon, NDP=Notre-Dame-de-Pontmain, RFV=Réserve faunique de La Vérendrye. La parcelle BL2 n'a pas été échantillonnée. Les valeurs dans le tableau sont des catégories de pourcentage (0 :0%, 1 :0%≤1%, 5 :1%≤5%, 25 :5%≤25%, 50 :25%≤50%, 75 :50%≤75%, 100 :75%≤100%).

Parcelle	ACRU	GAPR	MACA	QURU	PIST	PTAQ	Mo ss	VAMY	PRSE	Po a	Inc l	Lichen	ABB A	CYAC	RUID	TRBO	VICA	SPH	Inc 3	VAAN
BL1	1	5	5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	5
BL2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BL3	25	1	10	0	1	0	1	5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5	0	0
RI1	5	1	10	0	1	0	25	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
RI2	10	1	1	1	1	0	50	5	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0
RI3	5	5	5	1	1	5	10	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RFV1	0	0	1	0	0	0	50	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
RFV2	0	0	1	0	0	0	75	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
RFV3	0	0	1	0	0	0	100	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NDP1	5	0	5	0	0	5	75	1	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0
NDP2	0	1	1	0	0	0	5	5	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0
NDP3	5	0	0	10	0	1	50	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0

Parcelle	COC A	DA R	MOU N	NA A	ARN U	CY P	COC O	AM E	LYO B	CLB O	FRA M	COG R	EPR E	LYC L	VIC A	GAH Y	GOR E	DIL O
<b>BL1</b>	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BL2</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>BL3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RI1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RI2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RI3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RFV1</b>	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<b>RFV2</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>RFV3</b>	1	0	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	10
<b>NDP1</b>	1	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>NDP2</b>	5	0	0	0	0	1	25	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>NDP3</b>	5	0	0	0	25	50	0	0	1	0	1	5	5	25	1	0	0	0